



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional De Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Maestría en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Ponce Enríquez, como aditivo en la producción de concreto.

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

AUTOR:

Renny Dionicio Valarezo Guillen

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Stalin Paladines. PhD

LOJA-ECUADOR

2025



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Certificación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **PALADINES JIMMY STALIN**, director del Trabajo de Titulación denominado "**Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Ponce Enriquez, como aditivo en la producción de concreto.**", perteneciente al estudiante **RENNY DIONICIO VALAREZO GUILLEN**, con cédula de identidad N° **0750649394**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Titulación**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Titulación**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Loja, 20 de Diciembre de 2024



F)

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-003182

1/1
Educamos para Transformar



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Autoría

Yo, **Renny Dionicio Valarezo Guillen**, declaro ser autor del 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 del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:
**RENNY DIONICIO
VALAREZO GUILLEN**

Firma:

Cédula de Identidad: 0750649394

Fecha: 28/02/2025

Correo electrónico: renny.valarezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0998626624



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

Yo, **Renny Dionicio Valarezo Guillen**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Ponce Enríquez, como aditivo en la producción de concreto.** como requisito para optar 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 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 Titulación que realice un tercero. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de diciembre del dos mil veinticuatro.



Firmado electrónicamente por:
**RENNY DIONICIO
VALAREZO GUILLEN**

Firma:

Cédula de Identidad: 0750649394

Fecha: 28/02/2025

Correo electrónico: renny.valarezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0998626624



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por guiarme por el buen camino, a mi madre Blanca Doraliza Guillen Narváez y a mi padre Jorge Dionicio Valarezo Guillen por ser mis pilares fundamentales en mi vida y por siempre buscar mi progreso profesional, a mis hermanos Jorge, Carlos y Michael, por el respaldo que me han brindado en todo momento para cumplir mis objetivos.

Renny Dionicio Valarezo Guillen



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento hacia la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, por haberme brindado una oportunidad de especializarme en el programa de Maestría en Minas con mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva dirigida por el Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc. Agradezco de manera especial al Ing. Stalin Paladines Ph.D, por haberme orientado durante el proceso de titulación.

Al representante legal de la planta de beneficio Cormirey-Pambil, por brindarme la oportunidad y facilidades para el desarrollo de mi proyecto. Al Ing. Freddy Paul Paredes Luna por haberme ayudado en las tomas de muestras y monitoreo durante el proceso.

Y no menos importante, a mi familia y amigos que me impulsaron siempre a seguir adelante.

Renny Dionicio Valarezo Guillen



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Índice de Contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenido	vii
Indicé de tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
4. Marco teórico	6
4.1. Relaves Mineros.....	6
4.1.1. Características químicas de los relaves mineros.....	6
4.1.2. Manejo De Relaves.....	6
4.2. Caracterización física y mineralógica de los relaves.....	7
4.2.1. Gravedad especifica.....	7
4.2.2. Análisis granulométrico del relave minero.....	7
4.2.3. Difracción de rayos x.....	8
4.2.4. Fluorescencia de rayos x.....	8
4.2.5. Espectroscopía de emisión óptica (ICP – OES).....	8
4.3. Evaluación de impactos ambientales actuales vs actividades propuestas.....	8
4.3.1. Impacto ambiental de los relaves mineros.....	8
4.3.2. Plan de manejo ambiental para relaves mineros.....	8
4.3.3. Drenajes ácidos de minas.....	9
4.3.4. TULSMA.....	9
4.3.3.1. Libro VI, Anexo I, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua.....	9
4.3.3.2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	9
4.4. Propiedades físicas del concreto.....	10



4.4.1.	Resistencia a la compresión	12
4.4.1.1.	Factores que influyen sobre la resistencia a la compresión	12
4.4.2.	Resistencia a la tracción indirecta.	13
5.	Metodología.....	15
5.1.	Ubicación.....	15
5.2.	Materiales Y Equipos.....	16
5.3.	Procedimiento.....	17
5.3.1.	Toma de muestra del relave	17
5.3.2.	Análisis físico y mineralógico del relave minero.....	19
5.3.2.1.	Análisis Granulométrico	19
5.3.2.2.	Gravedad específica.	20
5.3.2.3.	Fluorescencia de rayos x.	21
5.3.2.4.	Difracción de rayos x.	21
5.3.2.5.	Espectroscopía de emisión óptica (ICP– OES).....	21
5.3.3.	Análisis de los impactos ambientales actuales versus los propuestos.....	22
5.3.3.1	Predicción de la generación ácida mediante ensayos estáticos.	22
5.3.3.2.	Preparación de muestra de agua con relave.	23
5.3.1.2.	Preparación de la muestra por lixiviación para la probeta de concreto.....	24
5.3.4.	Fabricación del concretos.....	24
5.3.5.	Ensayos Mecánicos del Concreto.....	25
5.3.5.1.	Resistencia a la Compresión	25
5.3.5.2.	Resistencia a la tracción indirecta.	27
6.	Resultados.....	28
6.1.	Analizar las características mineralógicas del relave.....	28
6.1.1.	Análisis granulométrico	28
6.1.2.	Gravedad Especifica.....	29
6.1.3.	Fluorescencia de rayos x.	29
6.1.4.	Difracción de rayos x	30
6.1.5.	Espectroscopía de emisión óptica (ICP– OES).....	31
6.2.	Evaluación preliminar de impactos ambientales sobre la base de las actividades actuales vs actividades propuestas.....	32
6.2.1.	Determinación del potencial generador de drenaje ácido de mina (DAM).. ...	32
6.2.2.	Parámetros y elementos metálicos localizados en la muestra de lavado de relave	33
6.2.3.	Parámetros y elementos metálicos localizados en la muestra de lavado del concreto.	34
6.2.4.	Comparación de parámetros y elementos localizados.....	34
6.2.5.	Reacción química de los DAM con el cemento portland II	35



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

MAESTRÍA EN MINAS

6.3.	Determinar la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto.....	36
6.3.1.	Resistencia a la compresión del concreto ordinario	36
6.3.2.	Resistencia a la compresión del concreto con 20% de relave.	37
6.3.3.	Resistencia a la tracción indirecta	38
7.	Discusión	40
8.	Conclusiones	42
9.	Recomendaciones	44
10.	Bibliografía	45
11.	Anexos	48



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Indicé de tablas

Tabla 1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	10
Tabla 2: Clasificación del concreto según su tipo y usos.....	11
Tabla 3: Materiales y equipos utilizados para la recolección de datos y desarrollo de la investigación.....	16
Tabla 4: Dosificación del concreto por unidad de probeta	24
Tabla 5: Dosificación total para la elaboración de las 24 probetas de concreto	25
Tabla 6: Análisis granulométrico del relave minero para agregado fino	28
Tabla 7: Elementos >1% mediante la técnica de fluorescencia de rayos x.....	29
Tabla 8: Determinación de minerales por la técnica de difracción de rayos x.	30
Tabla 9: Determinación de concentración de elementos por espectroscopía de emisión óptica.	31
Tabla 10: Resultados TEST ABA	32
Tabla 11: Interpretación de la prueba ABA	33
Tabla 12: Parámetros y elementos localizados en la muestra del lavado de relave minero....	33
Tabla 13: Parámetros y elementos localizados en la muestra del lavado de la probeta del concreto	34
Tabla 14: Comparación de resultados en base al Acuerdo Ministerial 097 – A tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	35
Tabla 15: Resistencia a la compresión de la probeta de concreto ordinario	37
Tabla 16: Resistencia a la compresión de la probeta de concreto con 20% de relave	37
Tabla 17: Comparación de resultados de resistencia a la tracción indirecta del concreto ordinario y con 20% de relave.....	38



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Índice de Figuras

Figura 1: Carga axial mediante prensa hidráulica a una probeta de concreto para la determinación a la resistencia a la compresión.	12
Figura 2: Influencia de la relación a/c en el concreto.	13
Figura 3: Resistencia a la tracción indirecta en probetas cilíndricas mediante el ensayo brasileño	13
Figura 4: Ubicación geográfica planta de beneficio Cormirey-Pambil	15
Figura 5: Relavera de la planta de beneficio Cormirey-Pambil, 2024.....	17
Figura 6: Toma de muestra compuesta-aleatoria, relavera de Cormirey-Pambil, 2024	18
Figura 7: Distribución de material de relave, laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024..	19
Figura 8: Agitador mecánico de tamices laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024.....	20
Figura 9: Determinación de la gravedad específica por el método de la fiola	21
Figura 10: Preparación de muestra del lavado del relave para detección de metales pesados.	23
Figura 11: Preparación de muestra para el lavado de la probeta del concreto con el 20% de relave.	24
Figura 12: Ensayo de resistencia a la compresión para el concreto original.	26
Figura 13: Ensayo de resistencia a la compresión para el concreto con 20% de relave	27
Figura 14: Curva granulométrica del relave minero	29
Figura 15: Concentración porcentual determinados por fluorescencia de rayos x.	30
Figura 16: Concentración porcentual de minerales determinados por difracción de rayos x.	31
Figura 17: Concentración de elementos químicos determinados por espectroscopía de EO..	32
Figura 18: Comparación de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto ordinario y del concreto con 20% de relave.	38



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Índice de Anexos

Anexo 1: Resultado de los elementos o parámetros localizado en la muestra de lavado de relave	48
Anexo 2: Resultado de los elementos o parámetros localizado en la muestra de lavado del concreto con aditivo de relave.....	49
Anexo 3: Resultados de FRX.....	50
Anexo 4: Resultados de DRX.....	51
Anexo 5: Resultados de Espectroscopía de emisión óptica (ICP– OES)	52
Anexo 6: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto	53
Anexo 7: Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción indirecta del concreto	54
Anexo 8: Certificado de Traducción.....	55
Anexo 9: Dosificación para la elaboración de las probetas de concreto	56

1. Título

Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Ponce Enríquez, como aditivo en la producción de concreto.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

2. Resumen

En la actualidad, los grandes volúmenes de relave generados por la industria minera representan un desafío importante en cuanto a su manejo. Por eso es importante implementar estrategias adecuadas que permitan tener un adecuado manejo de relave, además de darle un valor agregado considerando las características específicas de estos residuos. Un mal manejo o acciones deficientes de la gestión de relaves pueden desencadenar en una fuente potencial de drenaje ácido que afecte a la calidad del suelo y del agua debido a las altas concentraciones de metales pesado que puedan contener.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la viabilidad ambiental del uso de los relaves mineros generados en la planta de beneficio Cormirey-Pambil, como aditivo en la producción de concreto, específicamente un sustituto porcentual de la arena fina con el fin de promover una alternativa sostenible para la gestión de residuos mineros. Para ello, se llevó a cabo una caracterización mineralógica de los relaves y a su vez la dosificación y elaboración del concreto. Posteriormente, se realizó el análisis químico por absorción atómica del lavado del relave y de la muestra de concreto para finalizar con los ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta del concreto.

Los resultados obtenidos demostraron que el relave proveniente de la planta de beneficio Cormirey-Pambil, son aptos desde la viabilidad ambiental para el uso de fabricación de concreto como sustituto de la arena fina en un 20%. Esto se debe a las propiedades físicas del relave, además de sus dosificaciones empleadas hacen que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas por la norma ASTM C39 e INEN 1573 (resistencia a la compresión) determinan que el concreto elaborado con aditivo de relave es de tipo estructural, ideal para ser utilizado en la construcción de viviendas donde las resistencias no sean tan exigentes.

Palabras claves: resistencia a la compresión, tracción indirecta, tiempo de fraguado, relave minero.

2.1 Abstract

Currently, the large volumes of tailings generated by the mining industry represent a great challenge in terms of their management. This is why it is important to implement appropriate strategies that allow suitable tailings supervision, as well as adding worth considering specific characteristics. Poor management or poor tailings management actions can result in a potential source of acid drainage affecting soil and water quality due to the high concentrations of heavy metals they may include.

The main objective of this enquiry was to evaluate the environmental viability of using mine tailings generated at the Cormirey-Pambil processing plant as an additive in the production of concrete, specially as a percentage substitute for fine sand in order to promote a sustainable alternative for management of mining waste. For this purpose, a mineralogical characterization of the tailings was carried out as well the dosing and preparation of the concrete. Subsequently chemical analysis by atomic absorption of the tailings wastings to conclude with tests on the compressive and indirect tensile strength of concrete.

The results obtained showed that the tailings from the Cormirey-Pambil mill are environmentally viable for use in the manufacture of concrete as a 20% substitute for fine sand. This is due to the physical properties of tailings, in addition to the dosages used which comply with the technical specifications established by ASTM C 39 and INEN 1573 (Compressive strength), determine that concrete made with tailing admixture is a structural type of ideal for use in housing construction where strengths are not so demanding.

Keywords: compressive strength, indirect traction, setting time, mining taili



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

3. Introducción

El presente trabajo investigativo está orientado al estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Ponce Enríquez, como aditivo en la producción de concreto. Producto del procesamiento de minerales de la planta para la obtención de metales preciosos se generan grandes volúmenes de desechos, por este motivo se vio la necesidad de implementar nuevos mecanismos para el aprovechamiento de los residuos mineros.

En el Ecuador a lo largo de la última década, se han generado grandes impactos ambientales producidos por esta actividad, el mal manejo o depósito de sus relaves ha llevado al país a una situación alarmante por el nivel de contaminación que se producen en los sectores aledaños, siendo a su vez los ríos o efluentes lo más afectados. (Oviedo, Moína, Naranjo, & Marcos, 2017)

Los relaves mineros representan el principal desafío ambiental que se enfrenta el sur del Ecuador, particularmente la provincia del Azuay es una de las más afectadas producto la actividad minera ilegal del Cantón Ponce Enríquez. La disposición inadecuada de los relaves hacía las cuencas hídricas, ha provocado una contaminación significativa de la región. Estos relaves afectan el ecosistema acuático y a las comunidades del cantón que dependen de su fuente hídrica, productos de los metales pesados presentes en ella.

El pequeño porcentaje de empresas que cuentan con relaveras en el sector, como un método de conservación del medio ambiente y evitar descargas directas que afecten a la comunidad, están presentando problemas debido al límite de capacidad para el cuales fueron construidas, persistiendo los riesgos ambientales y motivando a seguir investigando para darle un valor agregado a este residuo como una posible variable de un correcto manejo de estos desechos. (Huaicane, 2023)

Es por este motivo que la planta de beneficio de Cormirey despertó la necesidad de realizar investigaciones junto al personal de laboratorio orientando al aprovechamiento de los relaves mineros producidos, para la elaboración de concreto con aditivo del relave como lo establece Quispe (2024). Sin embargo, es importante conocer sus propiedades mineralógicas con la finalidad de evaluar si esta investigación es ambientalmente aplicable.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Objetivo General

Evaluar la viabilidad ambiental del uso de los relaves mineros generados en la planta de beneficio CORMIREY, como aditivo en la producción de concreto, con el fin de promover una alternativa sostenible para la gestión de residuos mineros.

Objetivos Específicos

- Analizar las características mineralógicas de los relaves.
- Evaluación preliminar de impactos ambientales sobre la base de las actividades actuales vs actividades propuestas.
- Determinar la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto.



4. Marco teórico

4.1. Relaves Mineros.

Se define como relave minero a los desechos o subproductos que se obtienen luego del proceso de extracción de mineral de interés, los relaves mineros normalmente están compuestos por roca molida y agua lo que genera el lodo que se descarta. La composición de un relave es muy variada, ya sea por el tipo del yacimiento del mineral que se está extrayendo lo cual a lo largo puede presentar una variación de sus propiedades geoquímicas o por el tipo de proceso el cual fue sometido, tales como el proceso de flotación o cianuración. (Ministerio de Minas y Energía, 2021)

4.1.1. Características químicas de los relaves mineros.

Se consideran como características químicas de los relaves mineros al proceso al cual fue sometido dicho material, entre estas características tenemos las siguientes:

- Efluentes líquidos de flotación: Los reactivos que se utilizan en la flotación también van inmerso en los relaves mineros, pueden estar presentes los xantatos, ditiofosfatos, cromatos, sulfato de cobre, cal, ácidos grasos, entre otros, dependiendo del proceso metalúrgico requerido.
- Efluentes cianurados: El cianuro de sodio es uno de los pocos que pueden disolver al oro y la plata, es por esta razón que es el método más utilizado para la extracción de minerales de interés. Por lo tanto, los relaves de este proceso se denominarían efluentes cianurados. (Lima, y otros, 2019).

4.1.2. Manejo De Relaves

Las industrias mineras ya sean de mediana a mayor escala tienen la responsabilidad y obligación en mantener un plan de manejo y almacenamiento de sus desechos. Los principales problemas ambientales que se enfrenta el Ecuador por el mal manejo de estos desechos, es así como se necesitan buenas técnicas de manejo que van a permitir reducir el daño causado a los ecosistemas. (Morocho, 2023)

En control operacional de estos desechos requiere implementar propuestas técnicas sobre un manejo adecuado con la finalidad de prevenir efectos adversos que se pueden ocasionar en el momento de la manipulación, transporte, tratamiento, almacenamiento y disposición final. Dentro de un manejo adecuado es la implementación de obras civiles para la



construcción de piscina de relaves que cumplan con los parámetros establecidos y así evitar filtraciones, garantizándonos un óptimo almacenamiento. (Huaicane, 2023)

Los relaves, deben ser manejados de manera responsable. La prevención de impactos ambientales, la seguridad y salud en las personas implica una gestión responsable. Los depósitos de relaves son diseñados y operados, con la necesidad de obtener un manejo responsable de los relaves durante todo el ciclo de vida de la operación minera. Se puede denominar una gestión responsable, aquella que evalúe los riesgos asociados en sus depósitos de relaves, en los cuales pueden estar incluidos los riesgos físicos, químicos, incluyendo los posibles impactos que estén asociado con la salud, seguridad de las personas. (Morocho, 2023)

Para poder realizar un manejo de relaves de manera consistente, podemos seguir el ciclo de (Planificar, Hacer, Comprobar, Actuar). Este modelo nos ayudara a tener un mejor manejo y mejora continua para un buen manejo ambiental. (Moreno, 2023)

4.2. Caracterización física y mineralógica de los relaves

La caracterización mineralógica de los relaves es un proceso que normalmente puede ser utilizado para poder analizar y describir la composición de minerales que pueden estar presentes en las muestras. Es sumamente importante para observar los minerales descartados de su proceso de recuperación. (Cordero C. , Marchevsky, Chiacchiarin, & Giaveno, 2022)

4.2.1. Gravedad específica

La gravedad específica es una medida sin unidades y hace referencia a la densidad del mineral en relación con la densidad del agua, existen múltiples maneras para poder determinar la gravedad específica, pero el método más utilizado es el método de la fiola que consiste en dividir el peso de la muestra seca con el peso de la fiola con la pulpa. (Cevallos & Gonzalez, 2022)

4.2.2. Análisis granulométrico del relave minero

El análisis granulométrico o también conocido como análisis de partícula, es un método que consiste en utilizar una serie de tamices para determinar la distribución granulométrica del tamaño de partículas del relave, de tal manera se llegará a conocer la cantidad de peso retenido en cada malla, el porcentaje de retenido, porcentaje de retenido acumulado y el porcentaje passing. (Guutierrez, 2023)



4.2.3. Difracción de rayos x.

Se define a la difracción de rayos x como una técnica analítica utilizada en el campo de la orgánica e inorgánica generando gran importancia por su capacidad de detectar fases cristalinas presentes en las muestras y por generar resultados confiables. En el campo de la metalurgia es una técnica muy indispensable para la caracterización e identificación de minerales en relaves mineros, su técnica consiste en la proyección de un haz de rayos x que incide sobre muestras de polvo. (Amaya, Gómez, & Yeison, 2023)

4.2.4. Fluorescencia de rayos x.

Según Torres, Merú, & Gómez (2023) “La fluorescencia de rayos x es una de las técnicas más utilizadas en los campos de la metalurgia, mineralurgia e investigaciones ambientales. Su principio se basa en la excitación, emisión de fluorescencia y detección de rayos x de los elementos presentes en la muestra.”

4.2.5. Espectroscopía de emisión óptica (ICP – OES)

El método analítico por espectroscopía de emisión óptica es usualmente utilizado para analizar o determinar las concentraciones de elementos químicos en una muestra sólida o líquida. En la metalurgia es este método ayuda a identificar elementos valiosos como el oro, plata, cobre y zinc en concentrado de flotación o lixiviaciones, además de evaluar las impuras presentes que pueden llegar afectar al concentrado. (Jiménez, Grijalva, & Ponce, 2020)

4.3. Evaluación de impactos ambientales actuales vs actividades propuestas

4.3.1. Impacto ambiental de los relaves mineros

Los impactos ambientales generados a gran escala por la actividad minera no solo afectan a la calidad de vida de las comunidades que habitan cerca de estas áreas, también afectan a la biodiversidad del sector, con la remoción de montañas, contaminación de cuerpos hídricos y deforestación. La ruptura de relaveras o un mal manejo de estos desechos pueden ocasionar grandes desastres, uno de los casos más recientes ocurrió en el Brasil en la mina de mina de Córrego do Feijão donde la ruptura de una presa de relaves resultó con la muerte de más de 270 personas y una grave contaminación ambiental. (Peña & Araya, 2021)

4.3.2. Plan de manejo ambiental para relaves mineros

Un Plan de Manejo Ambiental para relaves mineros tienen como objetivo prevenir y mitigar impactos ambientales mediante el uso de medidas y actividades que involucren un buen manejo de relaves mineros o darles un valor agregado usándolos como aditivos para materiales



de construcción. Los PMA deben rigurosamente elaborados según lo establezca el ministerio de medio ambiente bajo las normativas vigente, siguiendo los parámetros de los posibles impactos que generen una mala disposición estos desechos.

4.3.3. Drenajes ácidos de minas

Se denomina drenaje ácido cuando los minerales ácidos exceden los minerales alcalinos, este tipo de drenaje no necesariamente deben presentar un pH bajo y pueden contener elevadas concentraciones de sulfatos, hierro, manganeso, aluminio y otros iones. Lo que normalmente genera que los iones de hidrogeno por hidrolisis y que se reduzca la disminución del pH, es la presencia de hierro, manganeso y aluminio disueltos. (Gallardo, Bruguera, Díaz, & Cabrera, 2020)

En los desechos que se generan por la actividad minera, contiene alta concentración de sulfuros principalmente metálicos, como, la calcopirita “CuFeS₂”, pirita “FeS₂”, esfalerita “ZnS” y arsenopirita “FeAS”, estos sulfuros son los que normalmente generan este tipo de lixiviados luego de atravesar diversos procesos biológicos y químicos. (Peña & Araya, 2021)

4.3.4. TULSMA

4.3.3.1. Libro VI, Anexo I, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua. La normativa de calidad ambiental tiene como objetivo proteger la calidad de agua y los ecosistemas acuáticos mediante regulaciones de descarga de contaminantes. Su función consiste en regular las descargas líquidas provenientes de industrias asegurando su cumplimiento para evitar el daño al medio ambiente y la salud pública de las personas del sector.

4.3.3.2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. En este anexo se establece los límites permisibles para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, se incluyen parámetros como el DBO, DQO, pH, sólidos suspendidos y metales pesados. La función es establecer límites para asegurar que las descargas de efluentes sean seguras.

Tabla 1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro/Elemento	Resultado	Unidad
Aceites y grasas	30	mg/L
Aluminio	5	mg/L
Arsénico	0.1	mg/L
Bario	2.0	mg/L
Boro Total	2.0	mg/L
Cadmio	0.02	mg/L
Cianuro Total	0.1	mg/L
Cinc	5.0	mg/L
Cloro activo	0.5	mg/L
Cloroformo	0.1	mg/L
Cloruros	1000	mg/L
Cobre	1.0	mg/L
Cobalto	0.5	mg/L
Compuestos fenólicos	0.2	mg/L
Cromo Hexavalente	0.5	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	100	mg/L
Demanda química de oxígeno	200	mg/L
Estaño	5.0	mg/L
Fluoruros	5.0	mg/L
Fosforo Total	5.0	mg/L
Hierro	0.13	mg/L
Manganeso	<0.08	mg/L
Plata	<0.01	mg/L
Plomo	<0.01	mg/L
pH	8.87	mg/L
Sólidos suspendidos Totales	35	mg/L
Sulfatos	36.25	mg/L
Sulfuros	0.1	mg/L

Miligramos/litros (mg/L); Potencial Hidrogeno (pH)

Nota: Adaptado de Acuerdo Ministerial 097 A, (pág. 24), Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015

4.4. Propiedades físicas del concreto.

- **Concreto**

Según León & García (2022) define como concreto a la mezcla de cemento, arenas, piedras y agua, la cantidad de cada uno de los productos dependerá de la resistencia que se quiera lograr con el concreto y en qué proceso vaya a ser utilizado, ya sea en columnas, pisos o muros de contención.

- **Cemento**

El cemento cumple un rol importante al momento de la producción de concreto, de este producto dependerá la resistencia y durabilidad del hormigón es por eso al momento de preparar el concreto se elija el tipo de cemento para el proyecto que se vaya a utilizar. Uno de los factores

también importante para la elección del tipo de cemento interviene las condiciones ambientales y las condiciones de construcción, es importante enfatizar que el grado de resistencia del hormigón dependerá del grado de resistencia del cemento. (Jácome, Burbano, & Nuñez, 2020)

Tabla 2: Clasificación del concreto según su tipo y usos.

Clasificación del concreto	
Tipo	Usos
Tipo GU:	Usado para construcción de viviendas
Tipo HE	Usado en proyectos de cortos fraguados
Tipo MS	Estructuras expuestas al suelo.
Tipo HS	Usado para plantas químicas
Tipo MH	Cimientos masivos
Tipo LH	Para construcción de muros de contención

Nota: General Use (GU); High Early Strength (HE); Moderate Sulfate (MS); High Sulfate (HS); Moderate Heat of Hydration (MH); Low Heat of Hydration (LH).

- **Agregados**

Los agregados para la obtención de concreto pueden dividirse en dos, agregados finos y agregados gruesos, los agregados finos (arena) son aquellos con tamaño de partícula menor a 4,75mm, por otra parte, se caracterizan a los agregados gruesos (grava) a aquellos con tamaño de partícula que superen los 4,75mm. Generalmente los agregados no juegan un papel químico con el concreto, más bien su papel es darle fluidez, plasticidad y resistencia al momento de solidificarse. (Viera, Gallegos, & Venegas, 2023)

- **Agregado fino**

El agregado fino tiene dos funciones simples pero importantes al momento de elaboración del concreto, en primer lugar, sirve como relleno además de actuar como lubricante para el agregado grueso en donde ayuda a mejorar la masa del concreto.

- **Agua**

El agua cumple la función de mezclar al cemento con los agregados finos y gruesos, con el único objetivo de producir el concreto, el agua a utilizar puede ser de cualquier fuente no contaminada con sustancias nocivas con la finalidad que no alteren o dificulte el desarrollo de la resistencia del concreto.

4.4.1. Resistencia a la compresión

Se denomina a la resistencia a la compresión como al esfuerzo máximo que una muestra de concreto pueda soportar a una carga axial, sus unidades se las expresan en kgf/cm^2 . Para los ensayos de resistencia a la compresión se utiliza la normativa ASTM C39 donde detalla ensayos normalizados en probetas cilíndricas. (Viera, Gallegos, & Venegas, 2023)

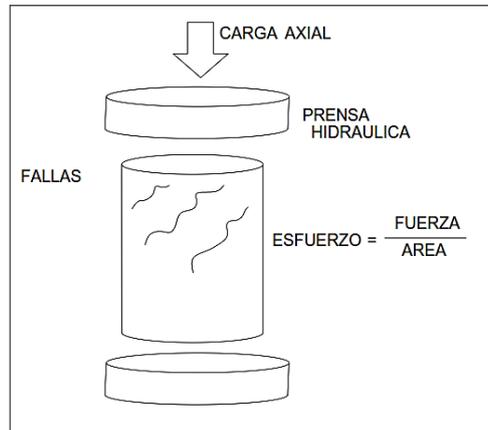


Figura 1: Carga axial mediante prensa hidráulica a una probeta de concreto para la determinación a la resistencia a la compresión.

Fuente: (De la cruz, La Borda, Mendoza, & Garrido, 2022)

4.4.1.1. Factores que influyen sobre la resistencia a la compresión. Es importante tener en cuenta que la dosificación para la elaboración del concreto sea la adecuada según lo establezca la normativa para el uso que se le vaya a dar, a continuación, observaremos los factores que influyen en el concreto:

- Influencia del tamaño máximo del árido:
- Relación Agua-Cemento.
- Contenido de Cemento
- Curado del Concreto

Sin embargo, podemos observar en la figura 2 la relación agua-cemento es la más influyente para la resistencia del concreto debido a esto podemos obtener una mejor manejabilidad del concreto, además de una buena resistencia y menor porosidad.

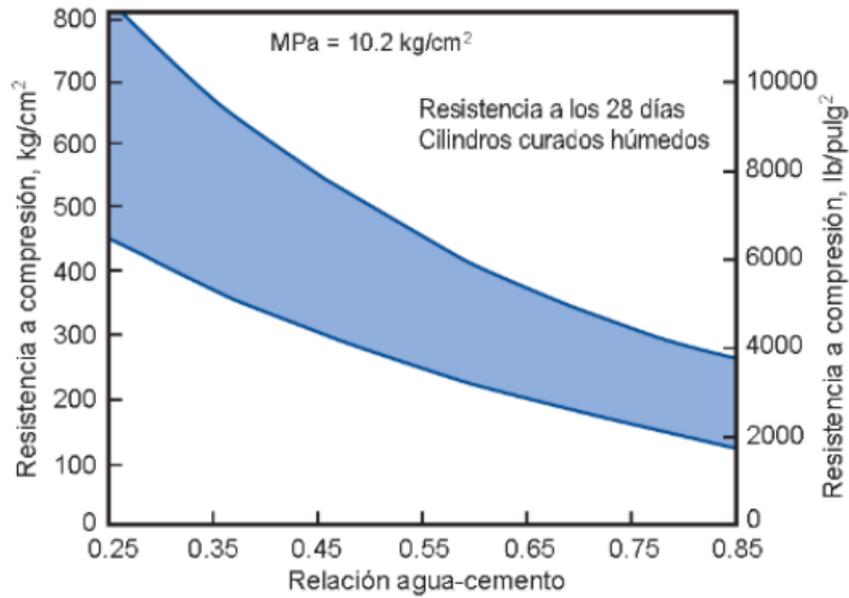


Figura 2: Influencia de la relación a/c en el concreto.

Fuente: (Vásquez, 2018)

4.4.2. Resistencia a la tracción indirecta.

La resistencia a la tracción de un material es la capacidad máxima de carga que pueda resistir antes que se produzca una deformación o una grieta, normalmente este tipo de ensayos es utilizado para medir la cohesión interna o resistencia a grietas. (Viera, Gallegos, & Venegas, 2023)

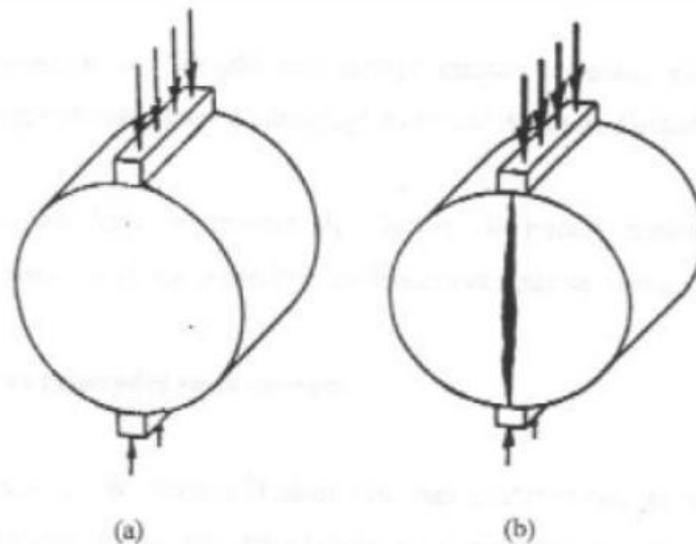


Figura 3: Resistencia a la tracción indirecta en probetas cilíndricas mediante el ensayo brasileño

4.4.3. Porosidad.

La porosidad del concreto es la cantidad de vacíos o huecos presentes en su estructura interna, los cuales pueden estar llenos de aire o agua. Depende de factores como la relación agua-cemento, el tipo de agregado y el proceso de compactación. Una mayor porosidad suele reducir la resistencia mecánica y aumentar la permeabilidad, lo que puede afectar la durabilidad del concreto al permitir la entrada de sustancias agresivas. Sin embargo, en algunos casos, se controla la porosidad para mejorar ciertas propiedades, como la resistencia al choque térmico. El contenido y la distribución de los poros influyen en la absorción y la capacidad de retención de líquidos. (Jácome, Burbano, & Nuñez, 2020)

4.4.4. Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto es una medida de su rigidez y su capacidad para deformarse bajo carga sin sufrir daños permanentes. Se expresa en megapascales (MPa) y depende de la resistencia del cemento, la calidad de los agregados y la porosidad del material. Un concreto con un alto módulo de elasticidad será más rígido y tendrá menor deformación, mientras que uno con un módulo bajo será más flexible pero menos resistente. Esta propiedad es fundamental en el diseño estructural, ya que influye en la estabilidad y el comportamiento ante cargas dinámicas o repetitivas. Además, está relacionado con la durabilidad del material frente a esfuerzos prolongados o fluctuantes. (Usuriaga Najera & Arica Tello, 2024)

4.4.5. Densidad

La densidad del concreto es la relación entre su masa y su volumen, generalmente expresada en kg/m^3 . Depende de los materiales empleados en la mezcla, incluyendo el tipo y tamaño de los agregados, la cantidad de cemento y la cantidad de agua utilizada. El concreto normal tiene una densidad que oscila entre 2,200 y 2,500 kg/m^3 , mientras que existen concretos livianos (menor a 1,800 kg/m^3) y pesados (mayor a 2,800 kg/m^3). Una mayor densidad suele estar relacionada con una mayor resistencia mecánica y menor absorción de agua. Además, influye en la capacidad del concreto para resistir cargas y en su comportamiento térmico. (Morocho, 2023)

5. Metodología

5.1. Ubicación

La presente investigación orientada a demostrar la factibilidad ambiental para el aprovechamiento de los relaves mineros de la relavera de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia de El Oro, Cantón Ponce Enríquez, como aditivo en la fabricación de concreto.

Coordenadas UTM/WGS 84/17 S: X: 644280.9 Y: 9657739.2 Z:324,77m, el sitio donde se encuentra ubicada la planta de beneficio CORMIREY-PAMBIL pertenece a la provincia del Azuay, Cantón Camilo Ponce Enríquez parroquia Camilo Ponce Enríquez, sector Pambil.



Figura 4: Ubicación geográfica planta de beneficio Cormirey-Pambil

5.2. Materiales Y Equipos

Tabla 3: Materiales y equipos utilizados para la recolección de datos y desarrollo de la investigación.

Actividad	Materiales, Herramientas y/o Equipos
<p>Objetivo 1: Analizar las características mineralógicas de los relaves.</p>	<p>Muestreo de Relaves</p> <p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> Gps Magellan Explorest Portátil <p>Herramientas e Insumos</p> <ul style="list-style-type: none"> pala manual fundas de polietileno con cierre hermético de capacidad $\pm 5\text{lb}$ Rotuladores
	<p>Análisis Granulométrico</p> <p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> Agitador mecánico modelo Retsch As 2000 <p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> Tamices (N°4, 8, 16, 30, 50, 100, 200) Balanza analítica Lunas de cristal 1 lb de relave muestreado <p>Análisis Mineralógico de Relaves</p> <p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> Fluorescencia de rayos x: Espectrómetro portátil marca Bruker S1 turbo SD Espectroscopía de emisión óptica ICP – OES: Espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado marca Perkin Elmer Difracción de rayos x: Difractómetro Bruker D8
<p>Objetivo 2: Evaluación preliminar de impactos ambientales sobre la base de las actividades actuales vs actividades propuestas.</p>	<p>Comparaciones con las normativas ambiental vigente</p> <p>Herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> Tulsma (texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente)
<p>Objetivo 3: Determinar la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto.</p>	<p>Fabricación De Concreto</p> <p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> Cemento Hidráulico Portland Ripio Relave Arena Finas Relave <p>Herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> Palas Baldes <p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> Máquina de prueba a la compresión modelo Humboldt Horno <p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> 12 cilindros de concreto sin relave 12 cilindros de concreto con relave al 20%

Kilogramo (kg); libra (lb); metro (m)

5.3. Procedimiento.

La metodología aplicada para nuestro proyecto de investigación es de carácter experimental y a su vez cuali-cuantitativa siguiendo una serie de pasos ya sistematizados que ayudaron a cumplir con los objetivos planteados.

5.3.1. Toma de muestra del relave

Para la obtención de nuestra muestra de relave, se realizó el recorrido a los alrededores de la relavera de Cormirey-Pambil Coordenadas UTM/WGS 84/17 S: X: 643971.2 Y: 9657515.4 Z:289m, con la finalidad de obtener las muestras que serán utilizadas para el cumplimiento de nuestros objetivos.



Figura 5: Relavera de la planta de beneficio Cormirey-Pambil, 2024

Una vez establecido el lugar se preparó las herramientas y materiales como fundas plásticas, palas manuales, guantes y rotulador. Se realizó la toma de muestra tipo compuesta-aleatoria como lo establece Cordero & Marchevsky (2022). Tomando tres submuestras seleccionadas al azar, para cada muestra extraída se escarbó al menos 30 cm de la superficie y se tomó aproximadamente 3kg (kilogramos) de material.



Figura 6: Toma de muestra compuesta-aleatoria, relavera de Cormirey-Pambil, 2024

En la figura 6 se muestra el procedimiento de toma de muestras para la relavera. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio químico de la planta de beneficio Cormirey-Pambil. Allí, las tres muestras se colocaron en un mismo recipiente, luego fueron homogeneizadas y secadas en un horno a 105°C para eliminar la humedad. Una vez homogeneizada, la muestra total de 9.5kg (kilogramos) fue dividido para los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del relave 1kg (kilogramos).
- Elaboración de concreto con 20% de relave minero 8.2kg (kilogramos).
- Lavado del relave 150g (gramos)

Los 750gr (gramos) sobrantes fueron moldeados dividido en cuadrantes regulares de 5x5cm (centímetros). Por cada cuadrante de muestra definitiva se tomaron 2g (gramos), finalmente esta cantidad de material obtenido (figura 7) fueron divididos para los diferentes ensayos:

- Gravedad Especifica. (50 gramos)
- Fluorescencia de rayos x (25 gramos)
- Difracción de rayos x de rayos x. (10 gramos)
- Espectroscopía de emisión óptica (0.5 gramos)



Figura 7: Distribución de material de relave, laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024

5.3.2. Análisis físico y mineralógico del relave minero

Para sustentar el primer objetivo respecto al análisis mineralógico del relave minero, se propuso realizar análisis granulométrico, gravedad específica, FRX, DRX y espectroscopía de emisión óptica. Todos los análisis mineralógicos mencionados fueron realizados en el laboratorio químico de la planta de beneficio Cormirey-Pambil, utilizando técnicas planteadas por el laboratorio y procesados por el software Microsoft Excel.

5.3.2.1. Análisis Granulométrico. Para análisis granulométrico del relave se utilizó como base la normativa ASTM C136-01 que detalla el método estándar para el ensayo de tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos por tamizado, figura 8. Se aplicó esta normativa internacional para evaluar la distribución del tamaño de las partículas del relave, lo cual es fundamental para la fabricación del concreto. Se inició pesando 1 kilogramo del relave. Posteriormente, se colocó una serie de tamices en orden decreciente (N 3/8"; 4; 8; 16; 30; 50; 100; 200) en el agitador de tamices. Una vez ordenados, se introdujo la muestra en el tamiz superior y agitamos mecánicamente durante 10 a 15 minutos, luego se pesó el material retenido en cada tamiz y se registraron los datos en nuestra hoja de Excel para calcular el porcentaje retenido y el porcentaje acumulado de cada fracción. Para finalizar, se creó una curva granulométrica relacionando el tamaño de partícula vs. porcentaje acumulado retenido.



Figura 8: Agitador mecánico de tamices laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024

5.3.2.2. Gravedad específica. Los 50 gramos de muestra establecidos para determinar la gravedad específica del relave fueron sometidos al método de la fiola con la finalidad de determinar la calidad del relave como agregado. Para determinar el valor de la gravedad, primero se pesó un balón volumétrico de 250ml aforado con agua destilada y se anotó su peso, luego se vació el agua a un aproximado de $\frac{3}{4}$ partes del balón para luego agregarle los 50 gramos de muestra, una vez colocada la muestra con el agua se procedió a agitar y a aforarlo nuevamente para llevar a pesarlo. Una vez obtenido los pesos aplicamos la siguiente fórmula para determinar la gravedad específica:

$$Ge = \frac{P_1}{P_1 + (P_2 - P_3)}$$

- P1= Peso de la muestra
- P2=Peso de la fiola + agua
- P3= Peso de la fiola + agua+ muestra



Figura 9: Determinación de la gravedad específica por el método de la fiola

5.3.2.3. Fluorescencia de rayos x. Este análisis consiste en determinar los elementos químicos mayoritarios que estarán presente en la muestra mediante el método mining light elements sustentado por Mayorga (2022). Para esto se configuró el equipo usando estándares específicos para matrices similares a relaves mineros como por ejemplo estándares para metales pesados comunes en los relaves, luego se colocó la muestra en el espectrómetro marca Bruker S1 Turbo SD que emite un haz de rayos X primarios hacia la muestra por unos 30 segundos, esto permitió que se identificarán las concentraciones químicas en porcentajes.

5.3.2.4. Difracción de rayos x. El análisis de difracción de rayos x semicuantitativo consiste en reflejar la composición cristalina de la muestra, para ello se preparó la muestra disminuyendo su tamaño inferior a 75 micrómetros para garantizar que todas las fases minerales sean accesibles al haz de rayos X, luego se calibró el equipo utilizando un estándar de referencia, para asegurar la precisión de las mediciones de ángulo. Para este análisis se utilizaron 10 gramos de muestra de relave y se colocaron en el equipo difractorómetro Bruker D8 advance para la determinación semicuantitativa de los resultados.

5.3.2.5. Espectroscopía de emisión óptica (ICP– OES). Se aplicó esta metodología como un complemento del análisis de fluorescencia, con la finalidad de poder detectar las concentraciones mineralógicas que el equipo de FRX no pudo detectar, llegando a analizar elementos de traza de hasta 1ppb (parte por billón), para aquello se procedió a tomar la muestra de 0,5 gramos y se agregó una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y fluorhídrico. La muestra preparada fue ingresada en un microondas y se calentada hasta disolver completamente los

minerales y obtener una solución líquida clara. Una vez obtenido la solución se configuró el espectrómetro utilizando soluciones estándar de calibración que contengan concentraciones conocidas de los elementos de interés, como Cu, Pb, Zn, Fe, As, y otros metales presentes en los relaves. Para finalizar se colocó la muestra en el espectrómetro marca Perkin Elmer para medir los elementos en concentraciones de partes por millón.

5.3.3. *Análisis de los impactos ambientales actuales versus los propuestos.*

Para el sustento del segundo objetivo planteado sobre los análisis de los impactos ambientales actuales vs los propuestos, se procedió analizar elementos metálicos que estén presentes en nuestro relave y en concreto fabricado con el 20% de relave. Los elementos metálicos localizados en la muestra del relave representan al impacto ambiental actual y el análisis de elementos metálicos localizado en el concreto con adición de relave representa nuestra propuesta.

Como referencia para nuestro análisis se tomaron los elementos químicos mayoritarios identificados en nuestro análisis mineralógico del relave en especial a cuyos componentes regulados por el MAATE por su toxicidad y potencial daño perjudicial para el medio ambiente, especialmente en el acuerdo ministerial 097-A.

5.3.3.1 Predicción de la generación ácida mediante ensayos estáticos. Para comprobar si el relave minero de la planta beneficio Cormirey son potenciales generadores de DAM se efectuaron la prueba modificada de balance ácido-base (ABA). Con el fin de saber si el relave ocupado para el estudio genera drenaje ácido, se determinaron los siguientes parámetros: a) potencial de neutralización (PN), el cual consta de la medición cualitativa de carbonatos. Dicho procedimiento se realizó mediante la adición de HCl al 25 % a las muestras, observándose una efervescencia fuerte debida a la reacción entre los carbonatos presentes en los jales y el ácido agregado, y b) medición del poder de neutralización, que consiste en agregar HCl 1N a las muestras en diferentes tiempos y posteriormente titularlas con NaOH 0.1N hasta alcanzar un pH de 8.3. El potencial de neutralización (PN) se calculó expresado en kgCaCO₃/t de jales utilizando la siguiente formula

$$PN = \frac{(Vf \text{ en mL de HCl}) - (0.1 \times vol \text{ en mL de NaOH})}{\text{peso de la muestra}}$$

El potencial de acidez (PA) consiste en la determinación de azufre en forma de sulfatos y azufre total. Para la determinación del azufre en forma de sulfatos se utilizó el método turbidimétrico (APHA 2003), el cual determina los sulfatos en mg/L de concentraciones menores a 1 mg de SO_4^{2-} /L. El ion sulfato se precipita en un medio ácido (HCl) con cloruro de bario ($BaCl_2$) y forma cristales de Ba de tamaño uniforme; a continuación, se mide la absorbancia y se determina la concentración del ion sulfato comparándola con la curva patrón de calibración previamente realizada. Para la determinación se utilizó un equipo turbidimétrico marca Hach 2100N:

$$mg SO_4^{2-} / L = \frac{mg SO_4^{2-} \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

$$\% S^{2-} = (\% S_{total} - \% S_{sulfatos})$$

$$PA = \% S^{2-} * 31.25$$

5.3.3.2. Preparación de muestra de agua con relave. Esta técnica consistió en lavar el relave con agua destilada por 14 horas. Se pesó 150gr (gramos) de relave minero y se mezcló en 500ml (mililitros) y se dejó reposar por el tiempo estipulado, luego se filtró la muestra y se colocó en frasco ámbar para llevarlo al equipo de absorción atómica para determinar las concentraciones de metales pesados en el relave.



Figura 10: Preparación de muestra del lavado del relave para detección de metales pesados.

5.3.1.2. Preparación de la muestra por lixiviación para la probeta de concreto. Para este proceso se usó como referencia la metodología 1315 de la Agencia de Protección ambiental donde establece la obligatoriedad de realizar ensayos químicos a muestras granulares o monolíticas, para este caso el concreto fabricado pertenece a una muestra monolítica y se realizó bajo el procedimiento semi dinámico de lixiviación.



Figura 11: Preparación de muestra para el lavado de la probeta del concreto con el 20% de relave.

5.3.4. *Fabricación del concreto*

Se procedió a determinar la cantidad optima de materiales para la elaboración de nuestro concreto, tomando en cuenta las normas NEC-SE-HM y ACI 211 que regula su dosificación. Utilizaremos la proporción 1:2:3 (cemento: arena: grava) y una relación a/c de 0.50. Para el cemento se utilizó dándonos como resultados:

Tabla 4: Dosificación del concreto por unidad de probeta

Material	Concreto Original	Concreto con porcentaje de relave 20%
Ripio(kg)	5.16	5.16
Cemento (Kg)	1.72	1.72
Arena (Kg)	3.44	2.75
Relave (Kg)	0	0.68
Agua (L)	0.86	0.86

Nota: Adaptado a la normativa ACI 211, laboratorio de suelos Ingeomat, 2024.

La dosificación presentada en la tabla 6 corresponde a una muestra de concreto de 10 kg (kilogramos) y dimensiones de 150 mm (milímetros) de diámetro y 300 mm (milímetros) de altura. Para este proyecto se elaboraron ocho probetas con concreto original y ocho probetas de concreto con el 20% de relave minero, destinadas a los ensayos de resistencia a la compresión. Para los ensayos de resistencia a la tracción indirecta, se elaboraron ocho probetas adicionales, de las cuales cuatro de ella fueron elaboradas con concreto original y cuatro con concreto con

aditivo de relave minero al 20%. En total, se produjeron 12 probetas por cada tipo de concreto. Para ello, en la tabla 7 se especifica la dosificación general.

Tabla 5: Dosificación total para la elaboración de las 24 probetas de concreto

Material	Concreto Original	Concreto con porcentaje de relave 20%	TOTAL
Ripio (kg)	61.92	61.92	123.84
Cemento (kg)	20.64	20.64	41.28
Arena (kg)	41.28	33.03	74.31
Relave (kg)	0	8.25	8.25
Agua (L)	8.76	8.76	17.52

Kilogramos (Kg); Litros (L)

Nota: Adaptado a la normativa ACI 2111, laboratorio de suelos Ingeomat, 2024.

5.3.5. *Ensayos Mecánicos del Concreto.*

Como fundamento para nuestro tercer objetivo, se decidió enviar las muestras de concreto al laboratorio de mecánicas de suelos IGEOMAT S.A., ubicada en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas, con la finalidad de determinar la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto. En el laboratorio, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta. Para la investigación se utilizó las normativas ASTM porque ofrecen técnicas para ensayos estandarizados reconocidos internacionalmente. Las normas INEN, aunque no especifican el procedimiento para los ensayos, fueron utilizadas como un complemento para los lineamientos generales de las ASTM, asegurando la calidad del concreto.

5.3.5.1. Resistencia a la Compresión. Para el ensayo a la resistencia a la compresión se utilizó la normativa ASTM C39. Se elaboraron cilindros de concreto (150 mm de diámetro x 300 mm de altura) utilizando moldes estándar. Las muestras fueron curadas durante 7, 14, 21 y 28 días. Para realizar el ensayo, cada cilindro fue colocado en la máquina de compresión, alineándolo correctamente para luego aplicar una carga axial de manera continua y uniforme a una velocidad de 0.25 MPa/s e ir registrando la carga máxima al momento de la falla. Al final de los 28 días se calcula a la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima aplicada por el área de la sección transversal del espécimen. (León & García, 2022).

$$f'c = \frac{F}{A}$$

- F= Carga máxima (N o lbf).
- Área transversal del cilindro ($\pi*r^2$).

Como primer punto se solicitó al laboratorio realizarle los ensayos a la resistencia a la compresión a las ocho muestras del concreto tradicional (sin porcentaje de relave) con el propósito de conocer su resistencia en los 28 días de fraguado y determinar el promedio de los resultados de las muestras.



Figura 12: Ensayo de resistencia a la compresión para el concreto original.

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto elaborado con 20% de relave minero, se siguió el mismo procedimiento utilizado para determinar la resistencia del concreto ordinario (sin relave minero) con la finalidad de determinar si influye en las propiedades mecánicas del concreto.



Figura 13: Ensayo de resistencia a la compresión para el concreto con 20% de relave

5.3.5.2. Resistencia a la tracción indirecta. Para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta se seleccionaron las probetas cilíndricas estándar con dimensiones de 150 mm x 300 mm (6 x 12 pulgadas) las cuales fueron curadas durante 28 días. Una vez pasado el tiempo de curado, se verificó que las probetas no presentaran grietas y se marcó la línea diametral sobre la superficie donde se aplicará la carga. Posteriormente, las probetas fueron colocadas horizontalmente entre las placas de carga de la máquina asegurando que estuvieran alineadas de manera simétrica. Para evitar fallas prematuras, se colocaron tiras de cartón de aproximadamente 3 mm de espesor entre las placas de carga y la probeta. A continuación, se aplicó una carga axial a las probetas a una velocidad constante de 689 kPa/min (kilo pascales/ minuto) a 1380 kPa/min (kilo pascales/ minuto) hasta que se produjo la rotura. Finalmente se anotó la carga máxima (P) y se calculó la resistencia mediante la siguiente fórmula

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

- T: Resistencia a la tracción.
- P: Carga máxima aplicada.
- L: Longitud del cilindro (mm o pulgadas).
- d: Diámetro del cilindro (mm o pulgadas).



6. Resultados

6.1. Analizar las características mineralógicas del relave

En cumplimiento del primer objetivo planteado en este proyecto, se analizaron 1.24 kg (kilogramos) de muestra, lo que representa un 13.05% de la muestra total. Tomando como base los resultados obtenidos en el laboratorio químico de la planta de beneficio de Cormirey-Pambil, sobre las características mineralógicas del relave que se describirán a continuación:

6.1.1. Análisis granulométrico

En la Tabla 8 se puede visualizar los datos obtenidos para el análisis granulométrico del relave minero realizado en el Laboratorio químico de Cormirey-Pambil.

Tabla 6: Análisis granulométrico del relave minero para agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL RELAVE MINERO							
NORMA ASTM 136							
Tipo de material:		Relave Minero					
Peso inicial seco:		1000 g					
Malla	Abertura (um)	Peso ret (g)	%Ret	%Ret Acumulado	%Passing	Límite inferior	Límite Superior
3/8"	9500	0	0.000	0.000	100.000	100	100
4	4760	0	0.000	0.000	100.000	95	100
8	2380	0	0.000	0.000	100.000	80	100
16	1190	0	0.000	0.000	100.000	50	85
30	595	0	0.000	0.000	100.000	25	60
50	297	0.73	0.073	0.073	99.927	5	30
100	149	584.23	58.423	58.496	41.504	0	10
200	74	230.58	23.058	81.554	18.446	0	5
-200	-74	184.46	18.446	100.000	0.000		
	Total	1000					

Nota: Adaptado de resultados de análisis granulométrico, laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024.

En la figura 14 se puede observar las curvas granulométricas del relave minero sobre los límites inferiores y superiores establecidos por la normativa ASTM136.

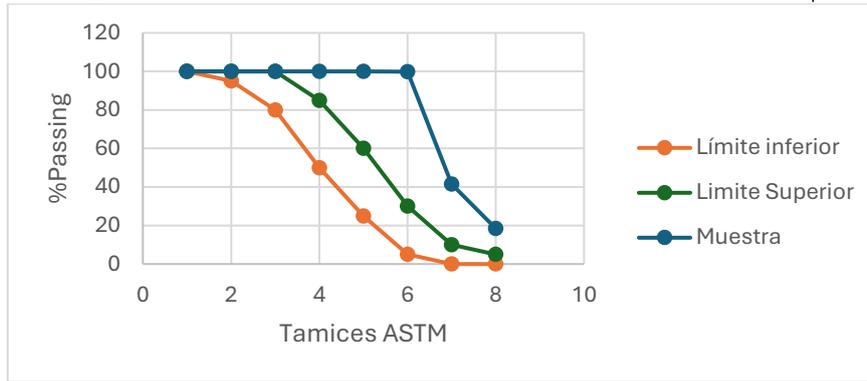


Figura 14: Curva granulométrica del relave minero

Nota: Adaptado de resultados de los análisis granulométricos, laboratorio químico Cormirey, 2024.

6.1.2. Gravedad Específica.

Mediante el método de la fiola se puede obtener la gravedad específica del relave minero con los datos obtenidos por el laboratorio químico de Cormirey-Pambil.

$$Ge = \frac{P_1}{P_1 + (P_2 - P_3)}$$

$$Ge = \frac{50g}{50g + (662.50g - 694.22g)} = 2.73$$

Se puede apreciar que la gravedad específica del relave minero presenta un valor de 2.73, similar al valor del agregado fino (arena) que establece la normativa ASTM 128.

6.1.3. Fluorescencia de rayos x.

Para el análisis de fluorescencia de rayos x se realizó mediante el método mining light elements. A continuación, se puede observar en la tabla 9 los elementos mayoritarios identificados por el análisis.

Tabla 7: Elementos >1% mediante la técnica de fluorescencia de rayos x

Parámetro	Valor	Unidad
<i>SiO₂</i>	45	%
<i>CaO</i>	9	%
<i>MgO</i>	5	%
<i>Fe₂O₃</i>	19	%
<i>Al₂O₃</i>	8	%
<i>SO₃</i>	14	%

Nota: Adaptado a los análisis de fluorescencia de rayos x, laboratorio químico CORMIREY, 2024.

Se puede apreciar en la tabla 9, que uno de los compuestos más predominantes en su concentración porcentual es el Óxido de Silicio (SiO_2) con un 45%, seguido por el Sulfuro de Hierro (Fe_2S_3) en un 17%, existen dos compuestos que tienen concentraciones similares como lo son el Óxido de Azufre (SO_3) y Óxido de Hierro (Fe_2O_3) con 14 y 13% respectivamente, los compuestos menos predominantes en este análisis pertenecen al Oxido de Calcio (CaO) con un 6% y Oxido de Magnesio (MgO) con 5%. Todos los compuestos analizados fueron plasmados en la figura 15 para visualizar fácilmente la diferencia de concentraciones porcentuales de los compuestos.



Figura 15: Concentración porcentual determinados por fluorescencia de rayos x.

Nota: Adaptado de resultados de fluorescencia de rayos x, laboratorio químico Cormirey, 2024.

6.1.4. Difracción de rayos x

Se utilizo la técnica de difracción de rayos x para realizar un análisis cualitativo y semi cualitativo en función a la parte cristalina de la muestra, dándonos las semi-cuantificaciones de los minerales representados en la tabla 10.

Tabla 8: Determinación de minerales por la técnica de difracción de rayos x.

Mineral	Valor	Unidad
Cuarzo	33	%
Calcopirita	11	%
Pirita	26	%
Pirrotina	7	%
Tetraedrita	3	%
Arsenopirita	15	%
Esfalerita	5	%

Nota: Adaptado a los análisis de difracción de rayos x, laboratorio químico Cormirey-Pambil, 2024.

Se puede observar en la figura 16 al cuarzo que predomina en función de su estructura cristalina con un porcentaje del 33%, seguido por la pirita con 26%, la arsenopirita con 15% y la tetraedrita como el mineral con menor concentración con una relación porcentual del 3%.

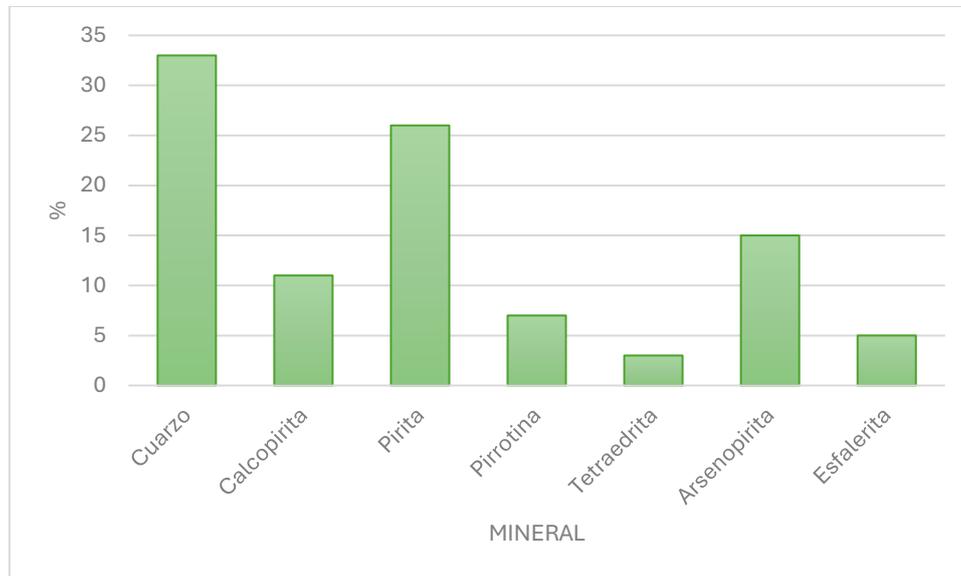


Figura 16: Concentración porcentual de minerales determinados por difracción de rayos x.
Nota: Adaptado de resultados de difracción de rayos x, laboratorio químico Cormirey, 2024.

6.1.5. Espectroscopía de emisión óptica (ICP– OES)

El método de plasma acoplado fue utilizado para la técnica de espectroscopía de emisión óptica, se lograron analizar 5 elementos químicos que contienen su relación porcentual <1%, sus concentraciones características las cuales están representadas en la tabla 11.

Tabla 9: Determinación de concentración de elementos por espectroscopía de emisión óptica.

Elemento	Valor	Unidad (ppm)
Ag	48,7	Ppm
Mg	117	Ppm
Cd	145.9	Ppm
K	415.23	Ppm
Zn	121.12	Ppm

Nota: Adaptado a los análisis de espectroscopía de emisión óptica, laboratorio químico Cormirey, 2024.

En la figura 17 se puede observar como el potasio predomina en su concentración con alrededor de 415.23ppm, seguido por el Cadmio con 145.9 ppm y logrando alcanzar valores mínimos de 48.7 ppm en concentración de Plata

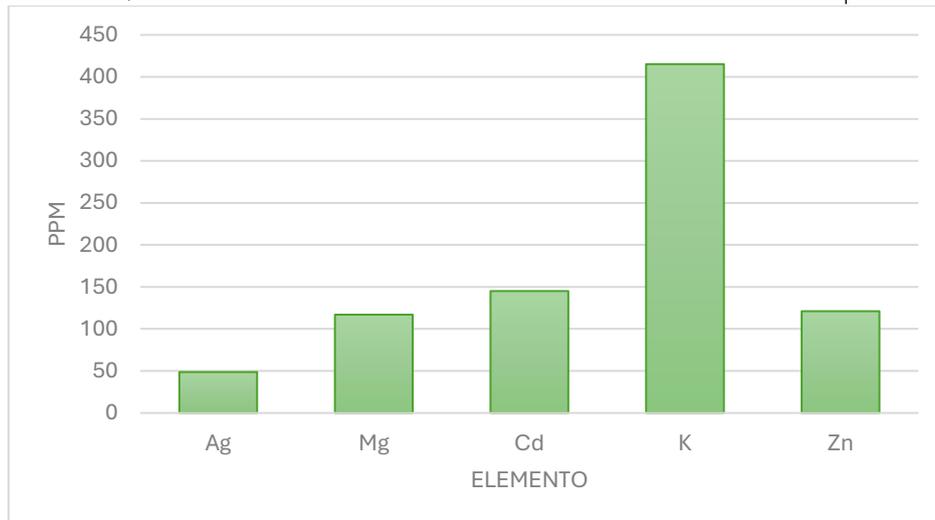


Figura 17: Concentración de elementos químicos determinados por espectroscopía de EO.
Nota: Adaptado de resultados de espectroscopía EO, laboratorio químico Cormirey, 2024.

6.2. Evaluación preliminar de impactos ambientales sobre la base de las actividades actuales vs actividades propuestas

Una vez obtenido los resultados del laboratorio químico Cormirey, de la determinación del potencial generador de drenaje de mina y los elementos metálicos localizados en muestra de 150 gramos del lavado del relave y de la probeta del concreto de 10 kilogramos, se procedió a ordenar los parámetros analizados sobre la base de las actividades actuales vs las actividades propuestas.

6.2.1. Determinación del potencial generador de drenaje ácido de mina (DAM)

En la tabla 10 se expresan los resultados de especies de azufre

Tabla 10: Resultados TEST ABA

Especies de azufre	
Azufre en Sulfato %	2.98
Potencial de Neutralización por Carbonato kgCaCO ₃ /t	96

Nota: Adaptado a los análisis de espectroscopía de emisión óptica, laboratorio químico Cormirey, 2024.

Aplicando la ecuación para determinar la posible generación de drenaje ácido por parte de los relaves y por ende de los productos que se espera obtener. Los resultados son los siguientes:

$$PA = \%S^{2-} * 31.25$$

$$PA = 2.98 * 31.25 = 93.13$$



A partir de los resultados obtenidos de PA y PN, se calcula dos medidas las cuales son PNN y la relación PN/PA

$$PNN = PN - PA$$

$$PNN = 96 - 93.13 = 2.87$$

$$\frac{PN}{PA} = \frac{96}{93.13} = 1.03$$

Tabla 11: Interpretación de la prueba ABA

PNN	PN/PA	INTERPRETAIÓN
>20	>3	Bajo o Nulo potencial de Generación de ácido
<20	1 a 3	*Potencial Marginal de generación de ácido
Negativo	<1	Alto Potencial de generación de ácido
-20 y 20 (Interpretación dificultosa)	>3	Bajo riesgo de formar drenaje ácido

Nota: PNN: Potencian de neutralización neto; PN: potencial de neutralización; PA: Potencial de acidez

6.2.2. *Parámetros y elementos metálicos localizados en la muestra de lavado de relave*

Los resultados presentados en la tabla 12 representan los elementos o parámetros metálicos detectados en miligramo/L(mg/L) del lavado de relave por el lapso de 14 horas, este análisis fue realizado bajo temperatura ambiente.

Tabla 12: Parámetros y elementos localizados en la muestra del lavado de relave minero.

Parámetro/Elemento	Resultado	Unidad
Aluminio	<0.001	mg/L
Arsénico	0.2	mg/L
Cadmio	<0.001	mg/L
Cianuros	0.2	mg/L
Cobre	<0.02	mg/L
Hierro	2.65	mg/L
Manganeso	0.9	mg/L
Plata	<0.01	mg/L
Plomo	<0.01	mg/L
pH	6.5	mg/L
Solidos suspendidos Totales	22	mg/L
Sulfatos	85	mg/L
Sulfuros	0.6	mg/L

Miligramos/litros (mg/L); Potencial Hidrogeno (pH)

Nota: Adaptado de resultados de espectroscopía de absorción atómica, laboratorio químico, Cormirey, 2024.

En la tabla 12 podemos observar que los metales como el aluminio (Al), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag), plomo (Pb), se encuentra por debajo del límite de detección definidos

por el laboratorio y representados por el signo (<), además de la obtención potencial hidrogeno (pH) de 6.5 que podríamos definirla como un agua ligeramente acida.

6.2.3. *Parámetros y elementos metálicos localizados en la muestra de lavado del concreto.*

Los resultados presentados en la tabla 13 representan los elementos o parámetros metálicos detectados en miligramo/L(mg/L) del lavado de la probeta de concreto con el 20% de relave, esta técnica consistió en sumergir la probeta por el lapso de 14 horas, este análisis fue realizado bajo temperatura ambiente.

Tabla 13: Parámetros y elementos localizados en la muestra del lavado de la probeta del concreto

Parámetro/Elemento	Resultado	Unidad
Aluminio	0.73	mg/L
Arsénico	<0.001	mg/L
Cadmio	<0.001	mg/L
Cianuros	0.05	mg/L
Cobre	<0.02	mg/L
Hierro	0.13	mg/L
Manganeso	<0.08	mg/L
Plata	<0.01	mg/L
Plomo	<0.01	mg/L
pH	8.87	mg/L
Solidos suspendidos Totales	35	mg/L
Sulfatos	36.25	mg/L
Sulfuros	0.1	mg/L

Miligramos/litros (mg/L); Potencial Hidrogeno (pH)

Nota: Adaptado de resultados de espectroscopía de absorción atómica, laboratorio químico, Cormirey, 2024.

En la tabla 13 podemos observar que los metales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), plata (Ag), plomo (Pb), se encuentra por debajo del límite de detección definidos por el laboratorio y representados por el signo (<), además de la obtención potencial hidrogeno (pH) de 8.87 que podríamos definirla como un agua ligeramente alcalina.

6.2.4. *Comparación de parámetros y elementos localizados*

Una vez obtenido los resultados del lavado del relave y de la probeta del concreto, fueron comparados con los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce con la finalidad de verificar el cumplimiento de la normativa.

Tabla 14: Comparación de resultados en base al Acuerdo Ministerial 097 – A tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Muestra del lavado del relave por 14 horas			Muestra del lavado de la probeta de concreto por 14 horas			Valoración Cualitativa de los resultados	Acuerdo Ministerial 097 – A tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (mg/L)	
Aluminio	<0.001	mg/L	Aluminio	0.73	mg/L	Aumenta	5.00	Cumple
Arsénico	0.2	mg/L	Arsénico	<0.001	mg/L	Disminuye	0.1	Cumple
Cadmio	<0.001	mg/L	Cadmio	<0.001	mg/L	Se mantiene	0.02	Cumple
Cianuros	0.2	mg/L	Cianuros	0.05	mg/L	Disminuye	0.1	Cumple
Cobre	<0.02	mg/L	Cobre	<0.02	mg/L	Se mantiene	1.0	Cumple
Hierro	2.65	mg/L	Hierro	0.13	mg/L	Disminuye	10.0	Cumple
Manganeso	0.9	mg/L	Manganeso	<0.08	mg/L	Disminuye	2.0	Cumple
Plata	<0.01	mg/L	Plata	<0.01	mg/L	Se mantiene	0.1	Cumple
Plomo	<0.01	mg/L	Plomo	<0.01	mg/L	Se mantiene	0.2	Cumple
pH	6.5	mg/L	pH	8.87	mg/L	Aumenta	6-9	Cumple
Sólidos Totales	22	mg/L	Sólidos Totales	35	mg/L	Aumenta	130	Cumple
Sulfatos	85	mg/L	Sulfatos	36.25	mg/L	Disminuye	1000	Cumple
Sulfuros	0.6	mg/L	Sulfuros	0.1	mg/L	Disminuye	0.5	Cumple

Miligramos/litros (mg/L); Potencial Hidrogeno (pH) es adimensional

Nota: Adaptado de resultados de espectroscopía de absorción atómica, muestra de lavado de relave y probeta del concreto, laboratorio químico Cormirey, 2024

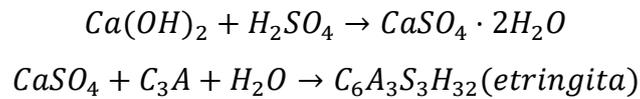
En la tabla 14, al comparar los resultados de ambas muestras de lavado, se puede evidenciar que para la mayoría de los parámetros analizados su concentración disminuye tal es el caso del arsénico (As), cianuro (CN), hierro (Fe), manganeso (Mn), sulfatos (SO_4^{-2}) y sulfuros (S^{-2}), mientras que el cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb), mantienen sus concentraciones. Por otra parte, se puede presenciar un aumento de sus concentraciones para el aluminio (Al), potencial hidrogeno (pH) y en los sólidos totales, producto de la composición del cemento. Aunque existan variación en la mayoría de los parámetros analizados, cada uno de ellos cumplen con el límite máximo permisible.

6.2.5. Reacción química de los DAM con el cemento portland II

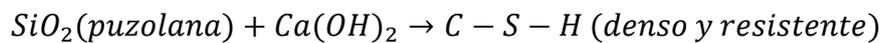
Durante la hidratación del cemento portland II, se genera el $Ca(OH)_2$ los cuales reaccionaran con los sulfatos del relave, formando sulfato de calcio, el cual reacciona con el



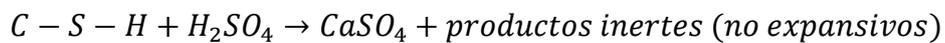
aluminato de calcio hidratado formando sulfoaluminato de calcio (etringita). Estas reacciones causan expansión y pueden producir la descomposición del concreto.



Sin embargo, este tipo de concreto contiene el efecto puzolana la cual reacciona con el hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ de modo que éste ya no está disponible para reaccionar con los sulfatos. Este efecto también reduce de la permeabilidad del concreto al disminuir la conectividad de los poros. Esto dificulta que los ácidos generados en el DAM penetren profundamente en la estructura del concreto.



Aunque el $Ca(OH)_2$ se reduce, aún quedan compuestos alcalinos en la matriz (como aluminatos y silicatos de calcio hidratados) que pueden ayudar a neutralizar los ácidos, limitando la degradación:



6.3. Determinar la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto.

Se determinó la incidencia del relave en las propiedades físicas del concreto mediante los ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta del concreto ordinario y el concreto con un 20% de relave, para este capítulo se analizaron las 24 probetas de concreto fabricadas.

6.3.1. Resistencia a la compresión del concreto ordinario

Los resultados presentes en la Tabla 15 pertenecen a los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las 8 probetas de concreto ordinario, a continuación, se muestran los resultados promedios alcanzados por las diferentes edades del curado del concreto específicamente en 7, 14, 21 y 28 días.

Tabla 15: Resistencia a la compresión de la probeta de concreto ordinario

Resistencia a la compresión en Mpa (Concreto Ordinario) ASTM C39/ INEN 1573					
Curado (días)	Probeta	Concreto ordinario (Mpa)	Factor de correlación	Resistencia final (Mpa)	Promedio
7	PBO1	23.3	0.96	22.37	22.66
	PBO2	23.9	0.96	22.95	
14	PBO3	28.4	0.96	27.26	27.46
	PBO4	28.8	0.96	27.65	
21	PBO5	35.5	0.96	34.08	33.41
	PBO6	34.1	0.96	32.74	
28	PBO7	40.1	0.96	38.50	39.55
	PBO8	42.3	0.96	40.61	

Nota: Adaptado de resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto ordinario, laboratorio de suelos Ingeomat S.A., 2024

Al observar la tabla 15, podemos identificar que a los 7 días de curado las probetas alcanzaron un promedio de 22.66Mpa, para los 14 y 21 días la resistencia aumento a 27.46 y 33.41Mpa respectivamente, alcanzando su valor más alto a los 28 días de curado con un promedio de 39.55 mega pascales (Mpa).

6.3.2. Resistencia a la compresión del concreto con 20% de relave.

Los resultados presentes en la Tabla 16 pertenecen a los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las 8 probetas de concreto con 20% de relave, a continuación, se muestran los resultados promedios alcanzados por las diferentes edades del curado del concreto específicamente en 7, 14, 21 y 28 días.

Tabla 16: Resistencia a la compresión de la probeta de concreto con 20% de relave

Resistencia a la compresión en Mpa (Concreto 20% relave) ASTM C39/ INEN 1573					
Curado (días)	Probeta	Concreto con relave 20% (Mpa)	Factor de correlación	Resistencia final (Mpa)	Promedio
7	PBR1	19.3	0.96	18.53	19.2
	PBR2	20.7	0.96	19.87	
14	PBR3	24.4	0.96	23.42	23.80
	PBR4	25.1	0.96	24.10	
21	PBR5	31.3	0.96	30.05	31.25
	PBR6	33.8	0.96	32.45	
28	PBR7	37.8	0.96	36.29	36.48
	PBR8	38.2	0.96	36.67	

Nota: Adaptado de resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto con 20% de relave minero, laboratorio de suelos Ingeomat S.A., 2024

Al observar la tabla 16, podemos analizar que a sus 28 días de curado del concreto con 20% de relave obtuvo un promedio de 36.48 mega pascales (Mpa), un 7.76% menos que la resistencia promedio de los 28 días de curado del concreto ordinario dándonos un concreto de tipo estándar según lo establece la normativa ASTM C39 y la normativa nacional INNEN 1573.

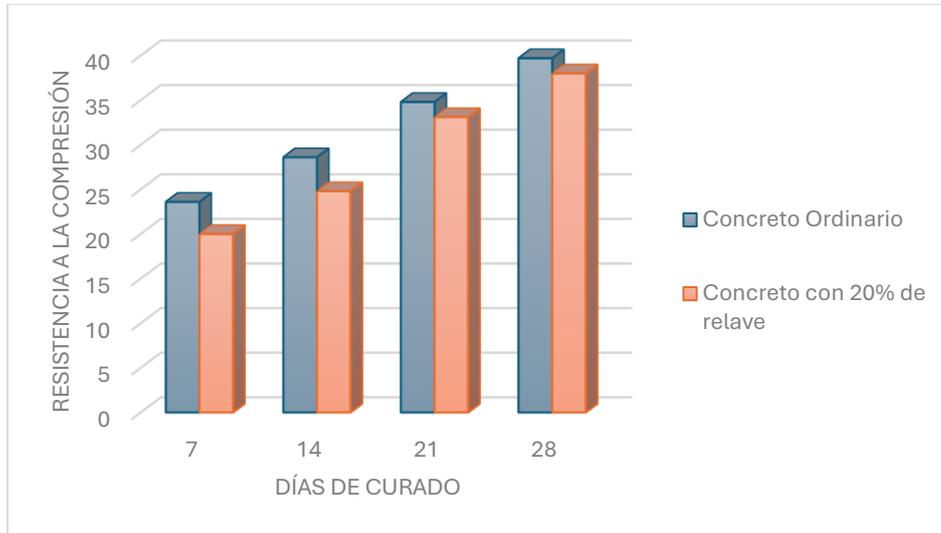


Figura 18: Comparación de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto ordinario y del concreto con 20% de relave.

6.3.3. Resistencia a la tracción indirecta

Los resultados presentes en la Tabla 17 pertenecen a los ensayos de resistencia a la tracción indirecta realizados a las 8 probetas, las cuales cuatro corresponde al concreto ordinario y los cuatro restantes al concreto con 20% de relave minero. A continuación, se muestran los resultados promedios alcanzados por las diferentes edades del curado del concreto específicamente en 7 y 28 días especificados en la normativa ASTM C496.

Tabla 17: Comparación de resultados de resistencia a la tracción indirecta del concreto ordinario y con 20% de relave

Curado (días)	Resistencia a la tracción indirecta Mpa ASTM C496			
	Concreto ordinario (Mpa)	Promedio	20% de relave (Mpa)	Promedio
7	2.70	2.75	2.42	2.39
	2.80		2.35	
28	3.46	3.5	3.14	3.18
	3.55		3.22	

Nota: Adaptado de resultados de ensayos de resistencia a la tracción indirecta del concreto ordinario y con 20% de relave minero, laboratorio de suelos Ingeomat S.A., 2024



unl

Universidad
Nacional
de Loja

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

MAESTRÍA EN MINAS

Podemos observar que los resultados para la resistencia a la tracción indirecta del concreto ordinario a los 28 días fueron de 3.5 Mpa, mientras que para el concreto con 20% de relave obtuvo un valor de 3.18Mpa.



7. Discusión

Desde el inicio del proyecto se estableció una base teórica técnica y científica para disponer de argumentos críticos de los resultados, adaptando los procedimientos con los objetivos planteados para la investigación.

La caracterización física y mineralógica del relave minero de la planta de beneficio CORMIREY reveló que el módulo de fineza está por debajo de los límites permisibles de la normativa ASTM136 lo cual puede afectar directamente a las propiedades físicas del concreto. Además, este relave cuenta con la presencia de minerales predominantes como la pirita (FeS_2) y arsenopirita (FeAsS), asimismo como cuarzo y otros silicatos. Este resultado es consistente con estudios previos que indican que los relaves mineros contienen altos porcentajes de sulfuros metálicos, los cuales pueden generar un riesgo ambiental si se exponen a condiciones que favorezcan la generación de drenaje ácido de mina (DAM).

Uno de los aspectos fundamentales de este proyecto fue determinar el potencial impacto ambiental del uso de los relaves mineros en la fabricación de concreto. Para ello, se realizaron ensayos estáticos para predecir la generación de drenajes ácidos mineros mediante el potencial de acidez y el potencial de neutralización, obteniendo como resultado de potencial de neutralización neto de 2.87 y potencial de acidez de 1.03, lo cual se interpreta como un relave con potencial marginal de generación de ácido, resultados disímil a los reportados por Jácome, Burbano & Nuñez (2020) en el desarrollo de adoquines a partir de los relaves de mina. Además, los ensayos de lixiviación realizados sobre las muestras de concreto con 20% de relave mostraron que las concentraciones de metales pesados en el lixiviado se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, lo que indica que el material puede ser encapsulado por la estructura del concreto sin representar un riesgo significativo para el medio ambiente. Sin embargo, se debe considerar que la estabilidad de estos metales en el concreto puede verse afectada por factores como la porosidad y el pH del medio circundante. A largo plazo, la exposición a ambientes agresivos podría favorecer la liberación de ciertos elementos, por lo que se recomienda continuar con estudios de durabilidad para evaluar el comportamiento del material en condiciones reales de exposición.

Los ensayos mecánicos realizados sobre las probetas de concreto indicaron que la incorporación del 20% de relave como reemplazo de la arena fina no afectó significativamente la resistencia a la compresión del material. De acuerdo con la norma ASTM C39 e INEN 1573, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango aceptable para concreto estructural de uso



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

general. Esto sugiere que el relave puede ser utilizado como agregado fino sin comprometer la resistencia mecánica del concreto. Por otro lado, la resistencia a la tracción indirecta también se mantuvo dentro de los límites establecidos, lo que indica que la cohesión interna del material no se vio afectada de manera significativa. Resultados similares reportados por Vargas, Vásquez, Valencia, & Mejía (2022) en la caracterización de un concreto geopolimérico fibrorreforzado para su aplicación en elementos constructivos, en donde reporta que el relave minero no afecta significativamente en las propiedades físicas del concreto obteniendo resultados que cumplan con las normativas vigentes.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

8. Conclusiones

De los resultados obtenidos de la presente investigación y del análisis de cada uno de ellos con la finalidad de responder cada uno de los objetivos planteados, se puede concluir lo siguiente:

El análisis físico y mineralógico realizado permitió determinar la concentración de minerales que posee el relave de la planta de beneficio Cormirey-Pambil. El análisis granulométrico reveló que el relave presenta un módulo de fineza que se encuentra por debajo de los límites permisible lo cual podría ser un problema en la producción de concreto. La difracción de rayos X y la fluorescencia de rayos X confirmaron la presencia de minerales como pirita (FeS_2) y arsenopirita (FeAsS), los cuales podrían representar un riesgo ambiental si no se manejan adecuadamente.

Como evaluación preliminar de los impactos ambientales actuales versus los propuesto, podemos concluir que el relave minero representa un potencial marginal de generación de drenaje ácido de mina. Sin embargo, esto no representaría un problema para la fabricación del concreto debido a la composición del cemento agregado lo cual ayudaría a encapsular estos compuestos evitando la degradación del concreto y un futuro riesgo ambiental. Además los resultados provenientes de la muestra del lavado del relave y de las probetas de concreto son testigos de la disminución de ciertos parámetros que se encontraban por encima del límite máximo permisible como es el caso del arsénico (0.2 a <0.001 mg/L), cianuro (0.2 a 0.05), hierro (2.65 a 0.13 mg/L), manganeso (0.9 a <0.08 mg/L), sulfatos (85 a 36.25 mg/L), sulfuros (0.6 a 0.1 mg/L), aunque hayan parámetros que han aumentado su concentración para las probetas de concreto como lo es el aluminio (<0.001 a 0.73 mg/L), pH (6.5 a 8.87), sólidos totales (22 a 33 mg/L), cuyo incremento se deriva de los agregados para la obtención del concreto. Todos los parámetros o elementos localizados del lavado del concreto cumplen con los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce como lo establece el Acuerdo Ministerial 097-A, tabla 9.

Para determinar si el relave influye en las propiedades físicas del concreto, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y resistencia de la tracción indirecta en un periodo de 28 días de curado del concreto. Los resultados provenientes de los análisis de resistencia a la compresión del concreto ordinario (39.55 Mpa) y del concreto con 20% de relave (36.48 Mpa) demuestran una leve disminución en la resistencia para este ensayo, así mismo sucedió para los ensayos de resistencia a la tracción indirecta del concreto ordinario (3.5 Mpa) a comparación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

de la muestra de concreto con relave (3.18 Mpa). Podemos concluir que el relave minero de la planta de beneficio de Cormirey-Pambil si influye en las propiedades físicas del concreto, sin embargo, este tipo de concreto fabricado está dentro del criterio de calidad establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción que permite determinar como un concreto estructural, con usos para estructuras ligeras.

En general se puede concluir que el relave minero generado por la planta de beneficio CORMIREY, es técnica y ambientalmente viable como sustituto parcial del agregado fino en la producción de concreto. Esto demuestra una alternativa para la gestión sostenible de residuos mineros, reduciendo así su impacto ambiental potencial y mitigando los riesgos ambientales relacionados con la lixiviación de contaminantes y garantizar el cumplimiento de normativas vigentes.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

9. Recomendaciones

De las conclusiones aportadas en el presente proyecto y con la finalidad de mejorar la calidad del proceso se recomienda lo siguiente:

Realizar los análisis mineralógicos de las muestras obtenidas con laboratorios externos y certificados, para constatar los resultados obtenidos por parte del laboratorio químico de la planta de beneficio de Cormirey-Pambil, con la finalidad de asegurar una mejor calidad y veracidad de los ensayos.

Se recomienda alargar el tiempo de fraguado de las muestras de concreto ordinario y con aditivo de relave a 90 días para verificar si la resistencia hidráulica del concreto presenta una mejora o a su vez empeora su condición. Además, es importante considerar la incorporación de ensayos que determinen la absorción de agua y la porosidad del concreto.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda seguir realizando pruebas con porcentajes de relaves del 10 y 15% con criterios y procedimientos similares aplicados en el presente proyecto, para determinar si las propiedades físicas del concreto mejoran y a su vez disminuyen los elementos o parámetros localizados en las muestras del lavado.



10. Bibliografía

- Amaya, A., Gómez, R., & Yeison, M. (2023). Simulación de perfiles de difracción de rayos X de muestras problema para aplicaciones académicas. *Educación Química*, 3-10. doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.82239>
- ASTM International. (2001). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (C136 – 01)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2016). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C39/C39M-16)*. West Conshohocken, PA.: ASTM International.
- ASTM International. (2016). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) (ASTM C78/C78M-16)*. West Conshohocken, PA.: ASTM International.
- Cevallos, J., & Gonzalez, S. (2022). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de oro mediante el proceso de flotación, en la relavera de la Empresa PRODUMIN S.A., Ponce Enríquez – Azuay. *Repositorio Institucional de la UNIVERSIDAD DEL AZUAY*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY, Cuenca.
- Cordero, C. G., & Marchevsky, N. J. (2022). Caracterización física, química y mineralógica de un antiguo relave, en busca de alternativas de reutilización. *Minería y Geología*, 70-82. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v38n1/1993-8012-mg-38-01-70.pdf>
- Cordero, C., Marchevsky, N., Chiacchiarin, P., & Giaveno, M. (2022). Caracterización física, química y mineralógica de un antiguo relave, en busca de alternativas de reutilización. *Minería y Geología*, 70-82.
- De la cruz, S., La Borda, L., Mendoza, C., & Garrido, J. (2022). RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO CON YESO Y RESIDUOS DE CONCHAS DE ABANICO. *Revista Boliviana de Química*, 1-9.
- Gallardo, D., Bruguera, N., Díaz, J., & Cabrera, I. (2020). Drenaje ácido de minas y su influencia en ecosistemas asociados al yacimiento Santa Lucía. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 67-81.
- Guutierrez, W. A. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6908-6928. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834
- Huaicane, S. (2023). Reciclaje del relave en la optimización del concreto lanzado en minera Cuzcatlan, Oaxaca - México. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.23027>
- Jácome, J., Burbano, D., & Nuñez, J. (2020). DESARROLLO DE ADOQUINES A PARTIR DE LOS RELAVES DE MINA. *Perfiles*, 69-75. doi:DOI: <https://doi.org/10.47187/perf.v1i27.151>
- Jiménez, M. E., Grijalva, A. d., & Ponce, H. X. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Revista Científica Mundo de la*



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Investigación y el Conocimiento, 4-12. doi:10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12

- León, L., & García, C. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 1-11.
- Lima, E., Hau, L., Suero, A., Huamanía, R., Aliagas, I., Ascuña, V., & Cruz, S. (2019). Estudio de los efluentes líquidos de complejos cianurados para la reutilización industrial mediante el método de jarras. *Revista Boliviana de Química*, 10-18. doi:10.34098/2078-3949.36.1.2
- Mayorga-Pérez, D. F., Pérez-Rojas, J. L., Tapia-Segarra, I. E., Flores-Fiallos, J. J., Miranda-Torres, G. E., & Sánchez-Paredes, A. D. (2022). Caracterización del Material Presente en la Mina de la Comunidad Sucre como Material Alternativo para la Fabricación de Bloques Tipo Ladrillo con Pet. *Polo del Conocimiento*, 1312-1331. doi:DOI: 10.23857/pc.v7i2.3648
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves*. Marzo .
- Moreno, R. (2023). Restauración geomorfológica sobre depósitos de relaves: caso de estudio aplicado a la concesión minera Río Blanco, Ecuador. *La Granja*, 130-141. doi:https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.10
- Morocho, D. (2023). Aprovechamiento de relaves con fines de agregados en la fabricación de adoquines a partir de la composición mineralógica en la planta de beneficio Alto Vizcaya. *Repositorio UNL*. Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Navas, S. (2022). Enriquecimiento teórico de metales asociados en los sulfuros del yacimiento Strizhkovsky (Rusia). *FIGEMPA*, 32-37. doi:https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3125
- Oviedo, R., Moina, E., Naranjo, J., & Marcos, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 438-441.
- Peña, S., & Araya, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de la Facultad de Derecho*, 1-29. doi:https://doi.org/10.22187/rfd2020n50a6
- Quispe, A. F. (2024). Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto $f'c=210$ kg/cm² de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023. *Repositorio Institucional - UNSAAC*. Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Cusco.
- Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmerica*, 1-7. doi:doi: 10.33210/ca.v10i1.356
- Torres, D., Merú, L., & Gómez, C. (2023). Fluorescencia total de rayos X como método alternativo para la determinación de microelementos en suelos de la depresión de Quíbor (Venezuela). *Tecnológicas*. doi:https://doi.org/10.22430/22565337.2195
- Usuriaga Najera, T. A., & Arica Tello, C. J. (2024). Propuesta de aplicación de relave minero en reemplazo parcial del agregado fino para la elaboración de concreto proyectado para trabajos de sostenimiento de mina subterránea en Minera Bateas Caylloma - Arequipa



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

– Perú. *Repositorio Academico UPC*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Arequipa.

- Vargas, A., Vásquez, W., Valencia, W., & Mejía, R. (2022). Caracterización de un concreto geopolimérico fibrorreforzado para su aplicación en elementos constructivos. *Revista UIS ingenierías*, 39-51. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v21n4-2022004>
- Vásquez, A. R. (2018). Influencia de la sustitución del agregado fino por relave minero en la resistencia a compresión y permeabilidad de un concreto de bajo tránsito, parcoy - la libertad - 2018. *Repositorio Institucional - UPN*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Viera, P., Gallegos, Y., & Venegas, E. (2023). Resistencia a la compresión y flexión de bloques elaborados a base de cangahua, cal, arcilla y paja. *Revista Digital Novasinerгия*, 150-156. doi:<https://doi.org/10.37135/ns.01.11.10>



UNL

Universidad Nacional de Loja

11. Anexos

Anexo 1: Resultado de los elementos o parámetros localizado en la muestra de lavado de relave



CORMIREY S.A
R.U.C. :0791720672001
Dirección: CDLA. LOS JARDINES GUAYAQUIL Y QUINTA NORTE
Machala – El Oro – Ecuador
Laboratorio Químico Planta Pambil
INFORME DE RESULTADOS No. 59411

Table with 4 columns: Información de la muestra, Tipo de muestra, Identificación de la muestra, Fecha de recepción de muestra, Fecha de toma de muestra, Periodo de realización de Analisis, Resultado.

NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 9. LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Table with 5 columns: AA, PARAMETRO, METODO ANALITICO, UNIDADES, RESULTADO. Lists parameters like Aluminio, Arsénico, Cadmio, etc.

INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Ing. Quim. Freddy Paul Paredes JEFE DE PLANTA

Nota: La planta de beneficio se desvincula de cualquier responsabilidad civil, laboral y penal derivado del proyecto



UNL

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Anexo 2: Resultado de los elementos o parámetros localizado en la muestra de lavado del concreto con aditivo de relave



CORMIREY S.A
R.U.C. :0791720672001
Dirección: CDLA. LOS JARDINES GUAYAQUIL Y QUINTA NORTE
Machala – El Oro – Ecuador
Laboratorio Químico Planta Pambil
INFORME DE RESULTADOS No. 59412

Table with 5 columns: AA, PARAMETRO, METODO ANALITICO, UNIDADES, RESULTADO. Includes sample information, analysis results for various elements like Aluminio, Arsénico, Cadmio, etc., and a signature block for Ing. Quim. Freddy Paul Paredes.

Nota: La planta de beneficio se desvincula de cualquier responsabilidad civil, laboral y penal derivado del proyecto



UNL

Universidad Nacional de Loja

Anexo 3: Resultados de FRX



CORMIREY S.A

R.U.C. :0791720672001

Dirección: CDLA. LOS JARDINES GUAYAQUIL Y QUINTA NORTE

Machala – El Oro – Ecuador

Laboratorio Químico Planta Pambil

INFORME DE RESULTADOS No. 59417

Información de la muestra		Fecha de toma de muestra	10/11/2024
Tipo de muestra	Suelo		
Identificación de la muestra	Relave-Pambil-001	Periodo de realización de Analisis	11/11/2024 al 13/11/2024
Fecha de recepción de muestra	11/11/2024		

Resultado obtenidos mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Parámetro	Valor	Unidad
SiO2	45	%
CaO	9	%
MgO	5	%
Fe2O3	19	%
Al2O3	8	%
SO3	14	%

Los resultados corresponden a la composición química expresadas en elementos mayoritarios (>1%) obtenido por el equipo Espectrómetro de FRX marca Bruker S1 Turbo SD.

INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:	 Ing. Quim. Freddy Paul Paredes JEFE DE PLANTA
------------------------------------	---

Nota: La planta de beneficio se desvincula de cualquier responsabilidad civil, laboral y penal derivado del proyecto



UNL

Universidad Nacional de Loja

Anexo 4: Resultados de DRX



CORMIREY S.A
R.U.C. :0791720672001
Dirección: CDLA. LOS JARDINES GUAYAQUIL Y QUINTA NORTE
Machala – El Oro – Ecuador
Laboratorio Químico Planta Pambil
INFORME DE RESULTADOS No. 59421

Table with 4 columns: Información de la muestra, Tipo de muestra, Identificación de la muestra, Fecha de recepción de muestra, Fecha de toma de muestra, Periodo de realización de Analisis.

Resultado obtenidos mediante Difracción de Rayos x (DRX)

Table with 3 columns: Mineral, Valor, Unidad. Lists minerals like Cuarzo, Calcopirita, Pirita, Pirrotina, Tetraedrita, Arsenopirita, Esfalerita with their respective values and percentages.

Los resultados corresponden a la composición química obtenido por el equipo Difractómetro marca Bruker D8.

Table with 2 columns: INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: and Ing. Quim. Freddy Paul Paredes JEFE DE PLANTA.

Nota: La planta de beneficio se desvincula de cualquier responsabilidad civil, laboral y penal derivado del proyecto



UNL

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Anexo 5: Resultados de Espectroscopía de emisión óptica (ICP- OES)



CORMIREY S.A

R.U.C. :0791720672001

Dirección: CDLA. LOS JARDINES GUAYAQUIL Y QUINTA NORTE

Machala - El Oro - Ecuador

Laboratorio Químico Planta Pambil

INFORME DE RESULTADOS No. 59427

Información de la muestra		Fecha de toma de muestra	
Tipo de muestra	Suelo		10/11/2024
Identificación de la muestra	Relave-Pambil-003	Periodo de realización de Analisis	
Fecha de recepción de	11/11/2024		11/11/2024 al 13/11/2024

Resultado obtenidos mediante Espectroscopia de emisión óptica (ICP- OES)

Elemento	Valor	Unidad (ppm)
Ag	48,7	Ppm
Mg	117	Ppm
Cd	145,9	Ppm
K	415,23	Ppm
Zn	121,12	Ppm

Los resultados corresponden a la composición química obtenido por Espectroscopia de emisión óptica (ICP- OES) empleado por el equipo Espectroscopia de emisión óptica por plasma Acoplado marca Perkin Elmer

INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:	 Ing. Quím. Freddy Paul Paredes JEFE DE PLANTA
------------------------------------	---

Nota: La planta de beneficio se desvincula de cualquier responsabilidad civil, laboral y penal derivado del proyecto



UNL

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Anexo 6: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto

<p style="text-align: center;">INGEMAT S.A. SUELOS - GEOTÉCNIA & MATERIALES Cda. Garzota II Etapa - Mz. 135 V. 16 ; Telf: (04) 5038360 - 0998282897 - 0994340172</p>							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
PROYECTO: Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros como aditivo en la producción de concreto.				FECHA: nov-24			
LOCALIZACION: Vía a Daule Km. 22,5				MUESTRA: 16			
EQUIPO: HUMBOLDT SKU: 032-HCM3000IH							
Resistencia a la compresión en Mpa (Concreto Ordinario) ASTM C39/ INEN 1573							
Curado (días)	Probeta	Altura de la probeta	Diametro de la probeta	Resistencia inicial (Mpa)	Factor de correlación	Resistencia final (Mpa)	Promedio
7	PBO1	150 mm	300 mm	23,3	0,96	22,37	22,66
	PBO2	150 mm	300 mm	23,9	0,96	22,95	
14	PBO3	150 mm	300 mm	28,4	0,96	27,26	27,46
	PBO4	150 mm	300 mm	28,8	0,96	27,65	
21	PBO5	150 mm	300 mm	35,5	0,96	34,08	33,41
	PBO6	150 mm	300 mm	34,1	0,96	32,74	
28	PBO7	150 mm	300 mm	40,1	0,96	38,5	39,55
	PBO8	150 mm	300 mm	42,3	0,96	40,61	
						Total	30,77
Resistencia a la compresión en Mpa (Concreto con 20% de relave) ASTM C39/ INEN 1573							
Curado (días)	Probeta	Altura de la probeta	Diametro de la probeta	Concreto con relave 20% (Mpa)	Factor de correlación	Resistencia final (Mpa)	Promedio
7	PBR1	150 mm	300 mm	19,3	0,96	18,53	19,2
	PBR2	150 mm	300 mm	20,7	0,96	19,87	
14	PBR3	150 mm	300 mm	24,4	0,96	23,42	23,8
	PBR4	150 mm	300 mm	25,1	0,96	24,1	
21	PBR5	150 mm	300 mm	31,3	0,96	30,05	31,25
	PBR6	150 mm	300 mm	33,8	0,96	32,45	
28	PBR7	150 mm	300 mm	37,8	0,96	36,29	36,48
	PBR8	150 mm	300 mm	38,2	0,96	36,67	
						Total	27,68
<p style="text-align: center;">CALCULADO POR: ING. FREDY BANEGAS B. VERIFICADO POR: ING. MS.c VICENTE LEÓN T.</p>							



UNL

Universidad Nacional de Loja

Anexo 7: Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción indirecta del concreto

<p style="text-align: center;">INGEMAT S.A. SUELOS - GEOTÉCNIA & MATERIALES Cda. Garzota II Etapa - Mz. 135 V. 16 ; Telf: (04) 5038360 - 0998282897 - 0994340172</p>						
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA						
PROYECTO: Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros como aditivo en la producción de concreto.			FECHA: nov-24			
LOCALIZACION: Vía a Daule Km. 22,5			N° MUESTRA: 8			
EQUIPO: Resistencia a la tracción (DPX)						
Resistencia a la tracción indirecta Mpa						
ASTM C496						
Curado (días)	Altura de la probeta	Diametro de la probeta	Resistencia de concreto ordinario (Mpa)	Promedio	Resistencia de concreto con 20% de relave (Mpa)	Promedio
7	150 mm	300 mm	2,7	2,75	2,42	2,39
	150 mm	300 mm	2,8		2,35	
28	150 mm	300 mm	3,46	3,5	3,14	3,18
	150 mm	300 mm	3,55		3,22	
			Total	3,125		
CALCULADO POR: ING. FREDY BANEGAS B. VERIFICADO POR: ING. MS.c VICENTE LEÓN T.						



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS

Anexo 8: Certificado de Traducción

Pasaje, 16 de diciembre del 2024

Yo, CAJAS QUEZADA JOYCE ESTHER con cédula de identidad 0705322097.,
Licenciada en CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION INGLES registro Nro
1011-2017-1814935

CERTIFICO:

Que, he realizado la traducción al idioma inglés de él resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado "**Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros de la planta de beneficio CORMIREY, ubicada en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, como aditivo en la producción de concreto**" , elaborado por el Ing. Renny Dionicio Valarezo Guillen con cédula de ciudadanía número 0750649394, graduado de la carrera de Ingeniería Química y egresado de la maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia extractiva en la Universidad Nacional de Loja

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

Atentamente:

Lcda. Joyce Esther Cajas Quezada

CI: 0705322097

Anexo 9: Dosificación para la elaboración de las probetas de concreto

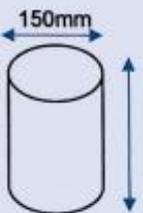
INGEMAT S.A.

SUELOS - GEOTÉCNIA & MATERIALES

Cdla. Garzota II Etapa - Mz. 135 V. 16 ; Telf: (04) 5038360 - 0998282897 - 0994340172

DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

PROYECTO:	Estudio de factibilidad ambiental para el uso de relaves mineros como aditivo en la producción de concreto.	FECHA:	nov-24
LOCALIZACION:	Via a Daule Km. 22,5	N° MUESTRA:	-
EQUIPO:	-		



Volumen de la Probeta

$$v = \pi * r^2 * h$$

$$v = \pi * (75cm)^2 * 300cm = 5301.45cm^3 \rightarrow 0.0053m^3$$

Dosificación de materiales para un concreto de 30 Mpa

Cemento: 325Kg de cemento para 1m³

$$0.0053m^3 * 24 = 0.1272m^3 \text{ Volumen total}$$

1m ³	-----	325kg
0.1272m ³	-----	x

$$x = \frac{0.1272m^3 * 325kg}{1m^3} = 41.34kg \text{ de cemento para 24 probetas}$$

→ 1.72 kg de cemento por probeta

Relación 1:2:3 → Cemento: Arena: Ripio

Cemento: 1.72kg

Arena: 3.44

Ripio: 5.16