



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

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

#### Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

**Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral  
“Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de El Oro”,  
como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida**

**Trabajo de Titulación previo, a  
la obtención del Título de  
Ingeniero en Geología Ambiental  
y Ordenamiento Territorial**

#### **AUTOR:**

Bryan Michael Delgado Requena

#### **DIRECTOR:**

Ing. José Ochoa Alfaro Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 14 de mayo del 2024

Ing. José Ochoa Alfaro Ph.D.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral “Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de El Oro”, como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de autoría del estudiante **Bryan Michael Delgado Requena** con **cédula de identidad N° 1104902273**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. José Ochoa Alfaro Ph.D.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, Bryan Michael Delgado Requena, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1104902273

**Fecha:** 14 de mayo del 2024

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

**Teléfono:** 0967126212

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

Yo, **Bryan Michael Delgado Requena**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral “Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos 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 del plagio o copia de Trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los catorce días del mes de mayo del dos mil veinticuatro.

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1104902273

**Fecha:** 14 de mayo del 2024

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

**Teléfono:** 0967126212

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. José Ochoa Alfaro Ph.D.

## **Dedicatoria**

A Dios, fuente de toda sabiduría, sus incesantes bendiciones han sido mi sustento y fortaleza.

A mis amados padres, Pedro Javier Delgado Cueva y Adela Teresa Requena Castillo, quienes han representado mi mayor fuente de apoyo, inspiración y amor incondicional. Su constante aliento y sacrificio han sido la luz que ha guiado cada paso en este camino académico.

A mis queridos hermanos Carlos Javier y Ainoha Amelí, quienes han compartido risas y momentos invaluables a mi lado, por su cariño y respaldo mutuo para lograr nuestros objetivos.

***Bryan Michael Delgado Requena***

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables, en especial a todos los que conforman la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, Su compromiso con la excelencia académica y apoyo constante han sido esenciales en mi formación y crecimiento profesional.

A mi director del Trabajo de Titulación, Ing. José Ochoa Alfaro, Ph.D., por su invaluable orientación, paciencia y sabiduría durante todo el proceso de investigación.

A los ingenieros Fernando Cuenca y Cristian Calderón, responsables del laboratorio de Mecánica de Rocas y Materiales, por su colaboración y asistencia técnica indispensable durante el estudio y análisis de las muestras.

Al representante legal de la Corporación Minera Miranda MINERMIR S. A, que por intervención del Ingeniero Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc, me brindaron apertura y facilidades para obtener las muestras de relave, un punto crucial en el desarrollo de mi investigación.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi amada familia, por su constante aliento y amor incondicional a lo largo de mi trayectoria académica, especialmente durante la fase final. Su inquebrantable respaldo y apoyo fueron un impulso fundamental que me llevó a culminar con éxito mi Trabajo de Titulación.

***Bryan Michael Delgado Requena***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de Autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas:.....	ix
Índice de figuras: .....	x
Índice de anexos: .....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Minería .....	6
4.2. Relave Minero .....	6
4.2.1. Tipos de relaves .....	6
4.3. Muestreo.....	7
4.3.1. Tipo de muestreo .....	8
4.3.2. Toma de muestras para caracterización de suelos .....	9
4.4. Caracterización física y química del relave.....	9
4.4.1. Características físicas del relave.....	9
4.4.2. Características químicas del relave.....	11
4.4.3. Caracterización mecánica.....	12
4.5. Construcción con Tierra .....	12
4.6. Caracterización de Cemento Holcim.....	13
4.7. Bloques de tierra comprimida (BTC).....	14
<b>5. Metodología</b> .....	<b>15</b>

5.1.	Materiales .....	15
5.2.	Metodología .....	15
5.2.1.	Metodología para el primero objetivo .....	16
5.2.2.	Metodología para el segundo objetivo .....	25
5.2.3.	Metodología para el tercer objetivo.....	27
5.3.	Resumen de Normas Técnicas para los ensayos .....	29
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>30</b>
6.1.	Área de estudio.....	30
6.1.1.	Ubicación Geográfica.....	30
6.1.2.	Acceso .....	30
6.2.	Caracterización del Relave Minero .....	32
6.2.1.	Caracterización física .....	32
6.2.2.	Caracterización química .....	35
6.3.	Caracterización del Suelo.....	36
6.3.1.	Ubicación Geográfica.....	36
6.3.2.	Acceso .....	36
6.3.3.	Caracterización física del suelo .....	38
6.4.	Dosificación de los Bloques de Tierra Comprimida .....	41
6.5.	Fabricación de los Bloques de Tierra Comprimida.....	43
6.6.	Resistencia mecánica de los Bloques de Tierra Comprimida .....	44
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>51</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>53</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>54</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>55</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>57</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Datos técnicos del cemento Holcim .....	13
<b>Tabla 2.</b> Materiales y equipos para el desarrollo del proyecto de investigación.....	15
<b>Tabla 3.</b> Procedimiento para el análisis de contenido de humedad.....	17
<b>Tabla 4.</b> Procedimiento del análisis por tamizado y módulo de finura .....	17
<b>Tabla 5.</b> Procedimiento para el análisis por el método del hidrómetro.....	18
<b>Tabla 6.</b> Procedimiento para los ensayos de limite líquido.....	19
<b>Tabla 7.</b> Procedimiento para el ensayo de limite plástico.....	19
<b>Tabla 8.</b> Procedimiento para los ensayos de densidad y absorción.....	20
<b>Tabla 9.</b> Procedimiento de los ensayos de caracterización química de los relaves.....	21
<b>Tabla 10.</b> Procedimiento para el análisis por tamizado y módulo de finura.....	21
<b>Tabla 11.</b> Procedimiento para el análisis de contenido de humedad.....	22
<b>Tabla 12.</b> Procedimiento para los ensayos de limite líquido.....	22
<b>Tabla 13.</b> Procedimiento para el ensayo de limite plástico.....	23
<b>Tabla 14.</b> Procedimiento para realizar la prueba compactación.....	23
<b>Tabla 15.</b> Intervalo óptimo de cemento para el proceso de estabilización.....	25
<b>Tabla 16.</b> Densidad seca y evaluación del comportamiento, bloque estabilizado .....	26
<b>Tabla 17.</b> Contenido de humedad y estabilizador recomendado.....	26
<b>Tabla 18.</b> Proceso de elaboración de BTC .....	26
<b>Tabla 19.</b> Proceso para el desarrollo del ensayo de compresión simple .....	27
<b>Tabla 20.</b> Resistencia mínima $f'_{cu}$ .....	28
<b>Tabla 21.</b> Resumen de Normas Técnicas utilizadas para los ensayos.....	29
<b>Tabla 22.</b> Coordenadas, Planta de Beneficio “Reina del Cisne II” código 390015 .....	30
<b>Tabla 23.</b> Ensayos desarrollados para la caracterización del Relave Minero .....	32
<b>Tabla 24.</b> Resultados del ensayo de Contenido de Humedad.....	32
<b>Tabla 25.</b> Resultados del ensayo de Densidad y Absorción.....	32
<b>Tabla 26.</b> Resultados del análisis granulométrico del relave minero .....	33
<b>Tabla 24.</b> Granulometría por el método del hidrómetro del relave.....	34
<b>Tabla 28.</b> Resultados de los Límites de Atterberg.....	35
<b>Tabla 29.</b> Clasificación del relave minero.....	35
<b>Tabla 30.</b> Resultados, conductividad eléctrica, pH y Salinidad del Relave Minero ...	35
<b>Tabla 31.</b> Coordenadas del suelo de la ciudadela Jardines de Punzara.....	36
<b>Tabla 32.</b> Resultados del ensayo de Contenido de Humedad.....	38

<b>Tabla 33.</b> Limite líquido y limite plástico del Suelo. ....	38
<b>Tabla 34.</b> Resultados de los Limites de Atterberg del Suelo.....	38
<b>Tabla 35.</b> Resultados del análisis granulométrico del suelo.....	39
<b>Tabla 36.</b> Clasificación SUCS y ASSTHO del suelo.....	40
<b>Tabla 37.</b> Resultados del ensayo de compactación (Proctor Estándar). ....	40
<b>Tabla 38.</b> Características del suelo de la ciudadela “Jardines de Punzara .....	41
<b>Tabla 39.</b> Dosificación en peso de las distintas series de BTC .....	43
<b>Tabla 40.</b> Número de bloques de tierra fabricados.....	43
<b>Tabla 41.</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (3 días).....	45
<b>Tabla 42.</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (7 días).....	46
<b>Tabla 43.</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (14 días).....	47
<b>Tabla 44.</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (28 días).....	48
<b>Tabla 45.</b> BTC estabilizados con 11% de cemento y 3% de Cal .....	49
<b>Tabla 46.</b> Valores de RC comparados con la Norma INEN 297.....	50

### Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Técnicas de muestreo.....	8
<b>Figura 2.</b> Granulometría del relave minero .....	33
<b>Figura 3.</b> Curva granulométrica por el método del hidrómetro .....	34
<b>Figura 4.</b> Mapa de Ubicación de la muestra de Suelo.....	37
<b>Figura 5.</b> Línea de Tendencia del Límite Líquido del Suelo.....	39
<b>Figura 6.</b> Granulometría del suelo.....	40
<b>Figura 7.</b> Curva de Compactación del ensayo de Proctor Estándar. ....	41
<b>Figura 8.</b> Diseño de bloques de Tierra Comprimida .....	44
<b>Figura 9.</b> Resistencia a la compresión de los btc estabilizados con 11% de cemento .....	49

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Muestreo de Relave Minero y Suelo .....	57
<b>Anexo 2.</b> Ensayo de contenido de humedad .....	58
<b>Anexo 3.</b> Ensayo de Densidad y Absorción (parte 1) .....	59
<b>Anexo 4.</b> Ensayo de Densidad y Absorción (parte 2) .....	60
<b>Anexo 5.</b> Granulometría por el método del hidrómetro .....	61
<b>Anexo 6.</b> Ensayo Granulométrico por tamizado .....	62
<b>Anexo 7.</b> Límites de Atterberg – Limite líquido y plástico .....	62
<b>Anexo 8.</b> Análisis de Conductividad Eléctrica, salinidad y pH de la arena de relave .	63
<b>Anexo 9.</b> Ensayo de compactación del suelo – Proctor Estándar. ....	64
<b>Anexo 10.</b> Chancado y tamizado del suelo .....	65
<b>Anexo 11.</b> Proceso de fabricación de BTC .....	66
<b>Anexo 12.</b> Ensayo de compresion simple .....	67
<b>Anexo 13.</b> Hoja para la recopilación de datos (Relaves Mineros).....	68
<b>Anexo 14.</b> Ensayo de Contenido de Humedad (Relaves Mineros).....	69
<b>Anexo 15.</b> Límites de Atterberg (Relaves Mineros) .....	70
<b>Anexo 16.</b> Análisis Granulométrico (Relaves Mineros).....	71
<b>Anexo 17.</b> Clasificación de la arena del (Relaves Mineros) .....	72
<b>Anexo 18.</b> Ensayo de Densidad y Absorción (Relaves Mineros) .....	73
<b>Anexo 19.</b> Ensayo de Conductividad Eléctrica, pH y Salinidad.....	74
<b>Anexo 20.</b> Hoja para la recopilación de datos (Suelo).....	75
<b>Anexo 21.</b> Ensayo de Contenido de Humedad (Suelo).....	76
<b>Anexo 22.</b> Límites de Atterberg (Suelo).....	77
<b>Anexo 23.</b> Análisis Granulométrico (Suelo).....	78
<b>Anexo 24.</b> Clasificación del Suelo .....	79
<b>Anexo 25.</b> Ensayo de Compactación (Proctor Estándar) (Suelo) .....	80
<b>Anexo 26.</b> Certificación de traducción del resumen .....	81

## **1. Título**

**“Uso de relaves mineros provenientes de la planta de Beneficio Mineral “Reina del Cisne II, código 390015”, cantón Portovelo, Provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida”**

## 2. Resumen

El proyecto experimental titulado “Uso de relaves mineros provenientes de la planta de Beneficio Mineral “Reina del Cisne II, código 390015”, cantón Portovelo, Provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida” se desarrolló en el marco de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, en búsqueda de alternativas sostenibles que den solución a la disposición final de los desechos mineros.

Para llevarlo a cabo, se precedió con una caracterización física y química tanto de la arena de relave como del suelo proveniente de la ciudadela “Jardines de Punzara”. Esto permitió su clasificación según los sistemas SUCS y AASHTO, lo que a su vez facilitó la selección del porcentaje óptimo de aglomerante, junto con la realización de prueba de próctor estándar para determinar la incorporación del contenido porcentual de agua.

Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) se fabricaron en una prensa manual con molde de 250x125x75 mm para bloques huecos, siguiendo pautas establecidas en diversos estudios previos. La dosificación inicial consistió en; tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%). La innovación en este proceso radicó en la modificación de la composición estándar, sustituyendo la proporción de arena por relave minero en diferentes porcentajes (1.55, 3.10, 4.65, y 6.20%)

La evaluación del comportamiento mecánico demostró que todos los BTC cumplieron con los estándares mínimos de resistencia según la normativa NTE INEN 294, y que 8 de los 15 lotes puestos a prueba superaron el requisito de 5 Mpa para muros portantes, según la NTE INEN 297.

Los resultados son alentadores y sugieren la necesidad de continuar las investigaciones en cuanto a la evaluación de otros tipos de suelos, su adopción del porcentaje de agua y selección del aglomerante.

***Palabras claves:*** Relave, dosificación, bloques, aglomerante.

## **Abstract**

The experimental project titled “Use of mining tailings from the Mineral Beneficiation Plant “Reina del Cisne II, code 390015”, Portovelo town, El Oro Province, as fine aggregate for the manufacture of Compressed Earth Blocks” was developed within the framework of the Engineering Degree in Environmental Geology and Territorial Planning, in search of sustainable alternatives that provide a solution to the final disposal of mining waste.

To carry it out, a physical and chemical characterization of both the tailings sand and the soil from the neighborhood “Jardines de Punzara” was preceded. This allowed its classification according to the SUCS and ASSHTO systems, which facilitated the selection of the optimal binder percentage, together with the performance of a standard proctor test to determine the incorporation of the water content percentage.

The Compressed Earth Blocks (CEB) were manufactured in a manual press with a 250x125x75 mm mold for hollow blocks, following guidelines established in previous studies. The initial dosage consisted of; soil (82.75%), sand (6.20%), and cement (11.03%). The innovation in this process was present in the modification of the standard composition by replacing the sand proportion with mining tailings in different percentages (1.55, 3.10, 4.65, and 6.20%).

The evaluation of the mechanical behavior showed that all BTC met the minimum resistance standards according to the NTE INEN 294 regulations and that 8 of the 15 lots tested exceeded the 5 Mpa requirement for load-bearing walls, according to the NTE INEN 297.

The results are encouraging and suggest the need for further research regarding the evaluation of other types of soils, their water percentage adoption, and binder selection.

***Keywords:*** *Tailings, dosage, blocks, binder.*

### **3. Introducción**

El Ecuador está experimentando un incremento notable en la actividad minera a gran escala, la cual se considera vital para el crecimiento económico del país. En la actualidad, alrededor del 15% del territorio continental posee concesiones mineras, y se anticipa que esta cifra aumentará debido al creciente interés de empresas mineras internacionales en el potencial minero de la nación.

Uno de los principales desafíos que enfrenta la industria minera es la gestión de residuos, especialmente los relaves mineros. Con 179 plantas de procesamiento de material minero en el país, según datos del (Ministerio del Ambiente, 2015), La gestión de residuos emerge como uno de los principales retos para la industria minera, esta problemática se ve agravada por la considerable cantidad de residuos generados, lo que puede resultar en la saturación de las zonas de depósito y dar lugar a problemas de estabilidad física y química a largo plazo, con consecuencias negativas para la salud humana y el entorno ambiental.

Por otro lado, la tierra es un material que se ha utilizado en construcción desde inicios de las culturas primitivas, su declive como insumo, se ha visto afectado por diversos factores como; normativa de construcción, preferencias estéticas, modernización y urbanización, entre otros. En este contexto, buscar alternativas de uso para los relaves mineros y la tierra, como materiales de construcción, puede reducir significativa esta problemática, que no solo ayudaría a mitigar los impactos ambientales asociados con la disposición de relaves, sino que también ofrecería una alternativa en los materiales de construcción.

Una solución innovadora para abordar esta situación es la reutilización de los relaves mineros en la producción de bloques de tierra comprimida, lo cual promueve la sostenibilidad en la industria de la construcción. Este enfoque implica reemplazar los materiales tradicionales utilizados en la fabricación de ladrillos por relaves, con el fin de obtener un producto final que mantenga o mejore las características de los ladrillos convencionales.

Esto ha motivado la investigación y la implementación del proyecto presentado en el marco de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja, titulado "Uso de relaves mineros provenientes de la planta de Beneficio Mineral 'Reina del Cisne II, código 390015', ubicada en el cantón Portovelo, Provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida", para lo cual se planteó un objetivo general y tres objetivos específicos, planteados en los siguientes términos, guían la investigación y el desarrollo de la investigación.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estudio de relaves mineros como agregado fino, provenientes de la planta de Beneficio Mineral Reina del Cisne II, código 390015, para la producción de bloques de tierra comprimida (BTC)

### **Objetivos Específicos**

Caracterización física – química del relave minero.

Determinar la dosificación idónea para la fabricación de BTC.

Evaluar el comportamiento mecánico de los BTC

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Minería**

Para (Herbet, 2017) en su trabajo de investigación menciona que la minería es un proceso industrial que permite la extracción y recolección específica de una variedad de sustancias minerales sólidas (como minerales y combustibles), líquidas (como el petróleo) o gaseosas (como el gas natural) presentes en la superficie de la Tierra. Estos recursos son transformados en materias primas, minerales o productos energéticos, los cuales son utilizados para satisfacer las necesidades de abastecimiento de materiales esenciales para el desarrollo de las sociedades humanas.

Las tecnologías diseñadas para optimizar la explotación económica de los recursos, reducir su impacto ambiental y mejorar la eficiencia en todas las etapas de la operación son fundamentales en esta actividad. También es crucial incorporar nuevos avances y desarrollos para mejorar globalmente el rendimiento de las actividades productivas, la explotación de yacimientos cada vez más complejos y difíciles, así como para reducir costos y crear valor. (Herbet, 2017)

### **4.2. Relave Minero**

Para (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2020), el relave se refiere a un residuo sólido finamente molido que se desecha en las operaciones mineras. En la extracción de sulfuros de cobre, se extraen grandes volúmenes de material, principalmente roca, del yacimiento en explotación. Sin embargo, solo una pequeña fracción de este material contiene el elemento de interés económico, que en este caso es el cobre, y esta fracción representa menos del 1% del total. Una vez que la roca ha sido finamente molida y concentrada a través de procesos de flotación, se obtiene un producto conocido como concentrado, el cual tiene una concentración más alta de cobre, generalmente entre el 20% y el 30%. Este concentrado puede venderse como está o puede someterse a un procesamiento adicional para obtener cobre metálico puro. El resto del material, que tiene una concentración muy baja de cobre y otros minerales, se denomina "relave". Es necesario manejar el relave de manera segura y ambientalmente responsable, lo que implica depositarlo en áreas específicas diseñadas para este fin y tomar medidas para prevenir la contaminación del suelo y el agua.

#### ***4.2.1. Tipos de relaves***

En la actualidad, hay diversos tipos de depósitos de residuos mineros, que varían según la cantidad de líquido presente en los residuos (es decir, la densidad de los residuos) y la forma

en que se realiza la contención y la deposición Según lo expuesto por (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2020) existen los siguientes tipos:

***Tranque de Relave.*** este tipo de depósito se distingue por tener su pared formada por la parte más densa del relave, la cual es comprimida y proviene de un hidrociclón, un dispositivo que separa los sólidos gruesos de los más finos mediante la fuerza del flujo de agua. La fracción más fina, conocida como lama, se deposita en la cubeta del embalse.

***Embalse de relave.*** Se trata de una estructura de almacenamiento donde el muro de contención está conformado por material de préstamo, compuesto por tierra y rocas del entorno, y se encuentra revestido con material impermeabilizante tanto en la parte superior como en el talud interior. Los depósitos ubicados en depresiones naturales del terreno, donde no se requiere la construcción de una estructura de contención, también se conocen como reservorios de relaves.

***Relave Espesado.*** Se refiere a depósitos donde la superficie es primero sometida a un proceso de sedimentación, utilizando un equipo conocido como Espesador. Este proceso facilita la sedimentación de los sólidos de manera similar a la purificación del agua de los ríos para su potabilización. El propósito es retirar una parte significativa del agua contenida, la cual puede ser reutilizada para reducir el consumo de agua limpia de fuentes naturales. El depósito de relave concentrado se diseñará de manera que evite la dispersión del relave hacia áreas no autorizadas, y se instalará un sistema de piscinas para recuperar cualquier agua remanente que pudiera escapar del depósito.

***Relave en pasta.*** Se refiere a una mezcla de sólidos y agua que contiene una cantidad considerable de partículas finas y una proporción reducida de agua, lo que da como resultado una mezcla con una consistencia densa, similar a una pulpa de alta densidad.

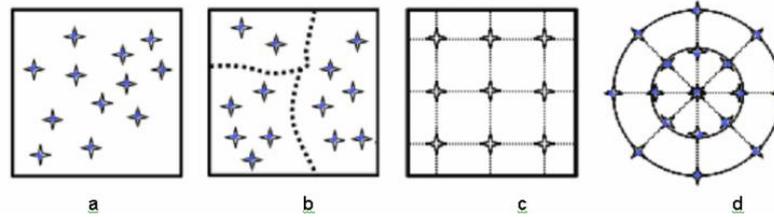
Además, según lo mencionado por (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2020), entre otros. existen otros tipos de depósitos de relaves, como los que se encuentran en minas subterráneas, en rajos abandonados, entre otros.

### **4.3. Muestreo**

Según lo señalado por (Torri, 2006), el proceso de recolección de muestras de desechos mineros hace referencia al procedimiento de adquirir muestras de los residuos sólidos o líquidos producidos durante la extracción y procesamiento de minerales en la industria minera. Los desechos mineros, también conocidos como colas o residuos mineros, son productos secundarios de las actividades mineras que consisten en partículas finas de roca, agua y sustancias químicas utilizadas en el proceso de separación de minerales.

### 4.3.1. Tipo de muestreo

Se cuentan con diversas formas de explorar el terreno para identificar las ubicaciones donde se tomarán las submuestras, pudiendo emplearse cualquiera de los siguientes esquemas:



**Figura 1.** Técnicas de muestreo.

**Nota.** a) aleatorio simple; b) aleatorio estratificado; c) sistemática rejilla rectangular; d) sistemática rejilla polar. Recuperado de (Torri, 2006)

**Muestreo aleatorio simple.** Es posiblemente el enfoque más sencillo de todos (a - Figura 1). En este método, la selección de las muestras se realiza completamente al azar y no está relacionada con ninguna variación observada en el suelo. Se refiere de una metodología en la que cada muestra de suelo tiene la misma posibilidad de ser seleccionada y considerada. En áreas con homogeneidad del terreno, este método puede ser adecuado, pero si existe una amplia variabilidad en el suelo, se recomienda emplear otro enfoque. Hay diversos métodos para obtener muestras aleatorias, como el uso de calculadoras, tablas de números aleatorios o la colocación de números en una bolsa para su posterior selección. Este tipo de muestreo es apropiado para áreas que presentan homogeneidad y están delimitadas por referencias visuales. (Torri, 2006)

**Muestreo estratificado.** se utiliza generalmente en áreas con heterogeneidad (b - Figura 1). Este método implica dividir el área en secciones relativamente homogéneas, conocidas como "estratos", y realizar un muestreo sistemático o aleatorio en cada uno de ellos. Se toma un número de muestras proporcional al área que representan en comparación con el total del área (Torri, 2006)

**Muestreo sistemático rejilla rectangular.** Este método de muestreo se lleva a cabo de manera sistemática, con intervalos fijos (c - Figura 1). Este método suele generar resultados más exactos que el muestreo aleatorio, dado que las muestras se distribuyen uniformemente en toda el área. Sin embargo, si el suelo exhibe una variación periódica o sistemática en alguna propiedad, o si el rango entre muestras guarda relación con el patrón de variación, es posible que se obtengan muestras sesgadas. Por lo tanto, antes de emplear este tipo de muestreo, se

recomienda realizar un estudio preliminar para comprender la naturaleza y variabilidad del suelo. (Torri, 2006)

**Muestreo en grilla.** constituye una técnica de muestreo intensiva (d -Figura 1). En este método, las muestras se recolectan a intervalos regulares en todas las direcciones y se analizan por separado. Cada muestra proporciona información sobre la variabilidad en distancias cortas dentro del área de interés y contribuye a mejorar la precisión del programa de fertilización. Sin embargo, no siempre el retorno económico derivado de una mejor fertilización justifica el costo de este tipo de muestreo. El plan de muestreo ideal debería contemplar la menor área posible que el productor pueda tratar como una unidad. No obstante, existe un compromiso entre la mínima área deseada para lograr una mayor precisión y aquella que se acepta para reducir los costos de los análisis. (Torri, 2006)

#### ***4.3.2. Toma de muestras para caracterización de suelos***

Como se menciona en el documento del (Ministerio del Ambiente, 2015), se procederá a tomar una muestra compuesta por cada 100 hectáreas, la cual estará conformada por entre 15 y 20 submuestras georreferenciadas. Cada una de estas submuestras tendrá un peso no inferior a 0.5 kg y se tomarán a una profundidad que oscile entre 0 y 30 cm. Después, las submuestras se fusionarán y homogeneizarán para obtener una muestra compuesta representativa del suelo, de la cual se extraerá una cantidad que varía entre 0.5 y 1.0 kg para llevar a cabo los análisis pertinentes. En el caso de obras, actividades o proyectos que abarquen menos de cien hectáreas, se seguirán las mismas condiciones mencionadas previamente. Para realizar el muestreo, se establecerá una cuadrícula en el área del proyecto y se seleccionarán las submuestras de forma aleatoria dentro de esta cuadrícula hasta alcanzar el número especificado. (Ministerio del Ambiente, 2015)

### **4.4. Caracterización física y química del relave**

#### ***4.4.1. Características físicas del relave***

**Contenido de humedad.** El ensayo de contenido de humedad es una prueba comúnmente utilizada en campos como la geología, la construcción, la agricultura y la ingeniería civil para determinar la cantidad de agua presente en un material, como el suelo, la arena, el hormigón, la madera o cualquier otra sustancia. La medición del contenido de humedad es esencial en numerosas aplicaciones, ya que puede afectar significativamente las propiedades y el comportamiento de un material. Este ensayo tiene como objetivo determinar

la cantidad de agua presente en el material en relación con su peso seco, conforme a la normativa. (NTE INEN 862:2011)

**Ensayo granulométrico. Análisis por tamizado y módulo de finura.** Es una prueba utilizada para determinar la distribución de tamaños de partículas en un material, generalmente en suelo, arena, grava, polvo, sedimentos, o cualquier sustancia compuesta por partículas sólidas. Este análisis es fundamental en campos como la geología, la ingeniería civil, la agricultura, la construcción y la industria de los materiales, ya que proporciona información importante sobre las características físicas y mecánicas del material, conforme a la normativa (NTE INEN 696:2011)

**Análisis por hidrómetro.** Se refiere a la evaluación de las propiedades relacionadas con la retención y el movimiento del agua en el suelo. Este tipo de análisis es fundamental en la agricultura, la ingeniería civil, la hidrología y la geología, ya que permite comprender cómo un suelo interactúa con el agua y cómo se ve afectado por los cambios en la humedad. Este ensayo es regulado por la norma (Astm D-422)

**Densidad y Absorción.** El ensayo de densidad y absorción en suelos se realiza para determinar dos propiedades importantes de un suelo: su densidad aparente y su capacidad de absorber agua. Estos ensayos son fundamentales en la ingeniería civil y la geotecnia, ya que proporcionan información sobre la compacidad y la respuesta del suelo al agua, conforme a la normativa (NTE INEN 856:2010)

**Clasificación del suelo SUCS y AASHTO.** La clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la Asociación de Oficiales de Carreteras Estatales de los Estados Unidos (AASHTO) son dos sistemas ampliamente utilizados en la ingeniería civil y la geotecnia para categorizar y describir los tipos de suelos con base en sus propiedades y características. Regulado por (Norma D-3282-93) y (Norma AASHTO M145)

**Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).** es un sistema de clasificación de suelos que goza de amplio uso en los Estados Unidos y en numerosas partes del mundo. Este sistema clasifica los suelos según sus propiedades físicas y características granulométricas. Los principales grupos de suelos en el SUCS incluyen:

- **Grava (GW, GP):** Suelos con partículas gruesas, como gravas y gravas limosas.
- **Arena (SW, SP):** Suelos con partículas finas, como arenas y arenas limosas.
- **Limo (ML, CL, OL):** Suelos con partículas intermedias, como limos.
- **Arcilla (CH, MH, OH):** Suelos con partículas finas, como arcillas.

Además, el SUCS incluye prefijos y sufijos para indicar modificaciones y características adicionales del suelo, como la plasticidad (alto contenido de arcilla), la compresibilidad, la expansividad y otros factores.

**Asociación de Oficiales de Carreteras Estatales de los Estados Unidos (AASHTO).** Organización que proporciona un sistema de clasificación de suelos utilizado principalmente en el diseño y construcción de carreteras en los Estados Unidos. Este sistema se centra en la capacidad de soporte del suelo y la resistencia a la compresión no confinada. Los principales grupos de suelos en la clasificación AASHTO son:

- **Grava (GW, GP):** Suelos con partículas gruesas y buena capacidad de soporte.
- **Arena (SW, SP):** Suelos con partículas finas y capacidad de soporte moderada.
- **Limo (ML, CL, OL):** Suelos con partículas intermedias y capacidad de soporte baja a moderada.
- **Arcilla (CH, MH, OH):** Suelos con partículas finas y baja capacidad de soporte.

Ambos sistemas, SUCS y AASHTO, son útiles para ingenieros y geotécnicos al seleccionar materiales de construcción, diseñar cimientos, determinar la capacidad de soporte del suelo y tomar decisiones relacionadas con la ingeniería civil. La elección entre uno u otro dependerá de las necesidades específicas del proyecto y las regulaciones locales o nacionales.

#### **4.4.2. Características químicas del relave**

**Conductividad eléctrica, salinidad y pH.** Los ensayos de conductividad eléctrica, salinidad y pH son pruebas comunes utilizadas en la agricultura, la química, la investigación ambiental y otras disciplinas para evaluar las características químicas y físicas de un líquido, generalmente agua o soluciones acuosas. A continuación, se describen estos tres ensayos y su importancia:

**Ensayo de Conductividad Eléctrica.** La conductividad eléctrica (CE) mide la capacidad del agua o una solución para conducir una corriente eléctrica. La CE se expresa en siemens por metro (S/m) o, más comúnmente en la práctica, en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos en el agua, mayor será su conductividad eléctrica.

**Ensayo de Salinidad.** El ensayo de salinidad se refiere a la medición de la concentración de sales disueltas en el agua o en una solución. La salinidad se expresa en partes por millón (ppm) o en unidades de conductividad eléctrica, como  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Ensayo de pH.** El pH representa el grado de acidez o alcalinidad de una solución líquida. Se cuantifica en una escala del 0 al 14, donde 7 es considerado neutral, valores inferiores a 7 denotan acidez, mientras que valores superiores a 7 señalan alcalinidad. La medición del pH se realiza utilizando un medidor de pH o tiras reactivas.

#### **4.4.3. Caracterización mecánica**

**Ensayo de Compresión Simple.** De acuerdo con la investigación de (Sarmiento, 2021) a este ensayo se le conoce también como ensayo de compresión uniaxial. Este procedimiento posibilita la obtención del valor de la carga máxima que puede soportar el suelo, junto con los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción interna. Es aplicado en proyectos donde no se necesite una precisión extrema, ya que proporciona un valor que tiende a ser prudente en su estimación. El ensayo de compresión simple es un método sencillo para obtener los resultados buscados, ya que no ocupa un equipo que en algunos casos puede ser inaccesible y, por lo tanto se considera un ensayo de menor costo. Este ensayo se realiza en suelos cohesivos o semi cohesivos que no expulsen agua durante la aplicación de la carga. Consiste en aplicar una carga axial con control de deformación a una muestra de suelo, ya sea alterada o inalterada, con la única condición de que se deberá realizar un cilindro de dimensiones tales que su altura sea igual a tres veces su diámetro. El ensayo de compresión simple se considera un caso especial del ensayo triaxial en el cual se le aplica al cilindro solo tensión longitudinal.

#### **4.5. Construcción con Tierra**

La construcción utilizando tierra ha desempeñado un papel crucial a lo largo de la historia y sigue siendo relevante en la actualidad, como señala (META2020 arquitectos, 2023) Actualmente, alrededor de un tercio de la población mundial vive en viviendas construidas con este material. Monumentos de gran importancia histórica, como la Gran Muralla china, los templos del Imperio Egipcio y las pirámides aztecas, así como una parte significativa del patrimonio arquitectónico de Asia y África, han sido erigidos utilizando la tierra como componente principal.

En la actualidad, hay una creciente demanda de viviendas que sean eficientes tanto en términos energéticos como económicos, y se valora cada vez más la salud interior de los hogares y el confort climático. Este cambio en la mentalidad ha dado lugar a un sector de la construcción industrializada que reconoce la necesidad de abandonar prácticas irresponsables en favor de enfoques más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Algunas de ellas son:

- **Adobe:** Bloque de barro moldeado y secado al sol. Generalmente, se mezcla con fibras vegetales, como paja, con el objetivo de incrementar su cohesión.
- **Tapia o Tapial:** Se refiere a un muro construido con tierra arcillosa húmeda, que se compacta y apisona dentro de un encofrado.
- **Bloque de Tierra Comprimido (BTC):** Similar al adobe en apariencia, pero producido de manera diferente. Se compone de una base de arcilla húmeda mezclada con un aglomerante, que se comprime y moldea haciendo uso de una prensa mecánica automática o manual
- **Adobillo:** Es una técnica que combina una estructura portante de madera con otra de relleno que proporciona estabilidad al conjunto. El relleno, similar al adobe, pero en una forma diferente, se entrelaza entre los pilares de madera. Esta técnica es comúnmente utilizada en Chile.

#### 4.6. Caracterización de Cemento Holcim

Según la empresa (Holcim Ecuador S.A.), el cemento Holcim Fuerte, Tipo GU, es un cemento hidráulico que ha sido desarrollado con tecnología avanzada e innovadora, con un enfoque en la reducción del 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este producto cuenta con el sello de calidad INEN, lo cual certifica que su proceso de producción cumple con altos estándares y calidad, en estricta conformidad con la normativa vigente NTE INEN 2380:2011. Holcim Fuerte está diseñado para su uso en morteros, concretos y una diversa variedad de obras de construcción. Se destaca por asegurar mezclas más manejables, con mayor rendimiento y con una menor propensión a la fisuración.

**Tabla 1.** Datos técnicos del cemento Holcim

	INEN 2380	Valor referencial HOLCIM
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat	-	-
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	-	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa	-	-
1 día	-	-
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.02	0.001

*Nota:* Tabla recuperada de (Holcim Ecuador S.A.)

#### **4.7. Bloques de tierra comprimida (BTC)**

Para (Rodolfo Rotondao & María Rosa Mandrin), el Bloque de Tierra Comprimida (BTC) es una unidad de albañilería utilizada en la construcción de diversos elementos como muros, dinteles, arcos, bóvedas de cañón corrido, hiperboloides y cúpulas. Estos bloques pueden presentarse en diversas configuraciones, como macizos, semihueco, con agujeros completos y con intertrabado, que incluye salientes y huecos para un ensamblaje mecánico. Las dimensiones de los BTC varían entre 8 y 12 cm de espesor, 14 a 15 cm de ancho y 29 a 34 cm de largo, dependiendo del modelo de la maquinaria utilizada para su fabricación. El material utilizado para los BTC consiste en una mezcla de suelo natural tamizado, que incluye componentes arcillosos y arenosos, un aglomerante industrial como el cemento (en dosificaciones entre el 5% y el 12% en volumen) o la cal (en porcentajes entre el 8% y el 15% en volumen), y un 10% de agua en el volumen total.

Tal como lo indica (NÉVES, 2011) en su investigación, el Bloque de Tierra Comprimida (BTC) es un elemento de construcción elaborado mediante la compactación o prensado de tierra, seguido de un desmoldeo inmediato. Con el fin de potenciar las características físicas y mecánicas del BTC, tales como su impermeabilidad, durabilidad y resistencia a la compresión y a la abrasión del viento, pueden aplicar técnicas de estabilización. Estas pueden incluir la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de diferentes tipos de suelo en proporciones específicas, y la estabilización química, que implica la adición de un agente químico, típicamente un aglomerante como el cemento o la cal, a la tierra. Los BTC pueden fabricarse en una variedad de formas y tamaños, siendo comunes los bloques macizos y con huecos, tanto con cómo sin encajes para unión.

## 5. Metodología

### 5.1. Materiales

Los materiales empleados para el desarrollo del proyecto se organizan como materiales de campo, laboratorio y oficina, detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Materiales y equipos para el desarrollo del proyecto de investigación

<b>Materiales de Campo</b>	<b>Materiales de Oficia / Laboratorio</b>		
GPS Garmin	Computador	Balanza	Cápsulas
Cinta métrica	Impresora	Tamices	Latas
Cama fotográfica	Software	Espátulas	Horno
Bolsa para muestras	Mandil	Cronometro	Mezcladora
Mapas	Mascarilla	Casa grande	Compresora
Talonarios de etiquetas	Franelas	Cemento	Balanza
Libreta de campo	Probetas	Arena	Varilla
Esferos / lápices	Matraz	Prensa triaxial	Agua
	Vaso de precipitación	Tamiz	Vaso de precipitación
	Agitador	Espátula	Agitador
	Calibrador de vernier	Bandejas	Espátula
	Equipo de compactación	Pala	Carretilla
	Cal	Tanque	Fuentes
	Guantes	Bailejo	Concretera

### 5.2. Metodología

El trabajo de Integración Curricular “Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral “Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida” se desarrolló empleando diversos métodos que se ajustaron a las exigencias del riguroso proceso científico.

La elección del método científico se basó en la necesidad de respaldar cada afirmación con información veraz y científica, la cual fue meticulosamente recopilada de fuentes confiables como libros especializados, artículos científicos, documentos técnicos y tesis previas. Este enfoque aseguró la integridad y validez de los datos, proporcionando una base sólida para la investigación. Además, se utilizaron enfoques tanto cuantitativos como cualitativos.

El enfoque cuantitativo se desplegó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Loja, donde se llevaron a cabo pruebas físicas, químicas y mecánicas, generando datos específicos que constituyeron la materia prima para un análisis exhaustivo e interpretación de resultados. Este enfoque integral permitió obtener una comprensión holística y precisa de los aspectos estudiados, asegurando fiabilidad de los resultados obtenidos.

### 5.2.1. Metodología para el primero objetivo

#### *“Caracterización de la composición física – químicas del relave minero”*

En esta etapa, se inició con una visita a la planta de Beneficio Mineral “Reina del Cisne II” código 390015, donde se ubicó y delimitó el área de las piscinas de relave. Una vez completada esta actividad y evaluada la cantidad de material presente en las piscinas de relave, se estableció el método de muestreo. Se optó por un muestreo sistemático por rejilla rectangular, en función de la forma del embalse, se empleó el uso de una pala para la extracción del material, descartando los primeros 10 cm de profundidad, a partir de ello, se tomó el material hasta una profundidad de 50 cm.

El número de muestras se calculó mediante la siguiente Fórmula 1.

$$Y = x^{0.3} * (11.71)$$

Donde:

Y = cantidad mínima de puntos que deben ser muestreados

X = área total del suelo en la zona de estudio, expresado en hectáreas.

Entonces:

Área muestreada = 251.6 m<sup>2</sup> equivale a 0.02516 Ha.

$$Y = (0.02516 \text{ ha})^{0.3} * (11.71)$$

$$Y = 3.87$$

El resultado final arrojó un puntaje de muestreo de 3.87, lo cual se equiparó al valor inmediatamente superior de 4. Este indicador nos señaló la cantidad mínima de puntos de muestreo requeridos para el depósito de relaves, con una recolección de aproximadamente 40 kg, los cuales fueron codificados y registrados.

Las muestras fueron preparadas para los análisis correspondientes y su uso en la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida (BTC). Para lograr una homogeneización de las muestras, en la primera fase se llevó a cabo el secado a temperatura ambiente y se dispusieron sobre una superficie impermeable. Posteriormente, se realizaron tres cuarteos y la mezcla correspondiente con el objetivo de obtener un material uniforme y representativo.

#### 5.2.1.1. Caracterización física del relave minero

##### **Clasificación del material, SUCS y AASHTO**

**Contenido de humedad.** Este parámetro se calculó de manera inmediata, trasladando el material de la planta de beneficio al laboratorio de suelos de la Universidad nacional de Loja,

con la finalidad de no alterar su porcentaje de agua, el procedimiento del cálculo se realizó con base a la norma (NTE INEN 862:2011), el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

**Tabla 3.** Procedimiento para el análisis de contenido de humedad.

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
1	Se colocó la arena de relaves sobre una bandeja, se extendió en su totalidad, se cuarteó 3 veces para homogeneizar y así tomar varias muestras representativas.
2	Las muestras seleccionadas fueron ubicadas en cápsulas con su etiqueta respectiva
3	Se empleó una balanza analítica para determinar su peso, registrando este valor como "W" (masa inicial de la muestra).
4	Las muestras fueron colocadas en un horno a una temperatura de 110° C ± 5 °C durante un período de 24 horas.
5	Después de retirar las muestras del horno, se volvió a pesar la muestra y se registró este peso como "D" (masa final de la muestra).
6	El contenido total de humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$P = 100 \cdot \frac{(W-D)}{D}$$

Donde:  
W = masa inicial (gr)  
D = masa seca (gr)

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Análisis granulométrico. Análisis por tamizado y módulo de finura.** El análisis de la granulometría se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por la normativa (NTE INEN 696:2011), Esta norma define los procedimientos y requisitos necesarios, los cuales se describen a continuación:

**Tabla 4.** Procedimiento del análisis por tamizado y módulo de finura

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
1	Se eligió una muestra de arena de relave y se lavó a través del tamiz N° 200 para prevenir que el material más fino se adhiriera a las mallas de los tamices.
2	El material lavado fue secado en un horno a una temperatura constante de 110°C con una tolerancia de ± 5°C.
3	Se seleccionaron los tamices # 4, # 8, #16, #30, #50, #100 y #200 con el objetivo de obtener información detallada sobre el material. Cada tamiz fue pesado y ordenado en orden decreciente según el tamaño de abertura, de arriba hacia abajo.
4	El material seco fue colocado en la parte superior de los tamices con la ayuda de una brocha para evitar pérdidas, y luego se trasladaron en la tamizadora mecánica durante diez minutos.
5	Después de completar el tamizado, se pesó cada tamiz con la muestra, calculando la masa retenida en cada uno. Además, se calculó la masa total, la cual debía ser similar a la masa original.
6	Por último, se calculó el módulo de finura sumando el porcentaje total retenido acumulado en cada tamiz y dividido por cien.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Análisis por el método del hidrómetro.** Para realizar el ensayo se necesita el material más fino que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200), de acuerdo con la norma (Astm D-422). Para llevar a cabo este ensayo, se seguirá el siguiente procedimiento:

**Tabla 5.** Procedimiento para el análisis por el método del hidrómetro.

Pasos	Proceso
1	Se preparó una solución de metafosfato de sodio disolviendo 40g en 1 litro de agua destilada
2	Se tomaron 3 muestras de 50g cada una, colocándose en 1 vaso de precipitación. Se añadieron 150 ml de la solución de metafosfato, se mezclaron y se dejaron reposar durante un mínimo de 16 horas.
3	Al completarse la saturación, la muestra se mezcló con un agitador mecánico a una velocidad inferior a 10,000 rpm durante tres minutos. Cualquier residuo presente se lavó con agua destilada.
4	La mezcla resultante fue transferida a una probeta, donde se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 900 ml. Posteriormente, se mezcló manualmente durante un minuto, se completó el volumen hasta 1000 ml y se procedió a colocar el hidrómetro.
5	Antes de realizar cada lectura, el hidrómetro fue sumergido cuidadosamente en una probeta con agua destilada, y se registró la temperatura de la muestra en suspensión.
6	Las lecturas del hidrómetro se realizaron en intervalos de tiempo especificados: 1, 2, 5, 15, 30, 60, 120 minutos, 4, 16, 24, 48 y 36 horas.
7	Se calculó el valor de corrección por temperatura ( $C_t$ ), la longitud efectiva ( $L$ ) aplicada en la fórmula de la Ley de Stokes, y se obtuvieron los valores de $K$ necesarios para el cálculo del diámetro de las partículas
8	Se procedió a calcular la lectura corregida ( $R_c$ ) mediante la siguiente ecuación: $R_c = R_a + C_0 + C_t$ La lectura corregida por menisco ( $R$ ) se determinó sumando la lectura real del hidrómetro al factor por menisco correspondiente a 1.
9	El calculo del diametro de particulad ( $D$ ) se obtuvo mediante la ley de Stokes $D = k * \frac{\sqrt{L}}{Tiempo}$
10	La velocidad de caída de las partículas ( $V_c$ ), se aplica la siguiente fórmula para su cálculo: $H = 15.5 - 0.16 * R$ $V_c = \frac{H}{60 * Tiempo}$
11	Finalmente, se calculó el porcentaje que pasa mediante la fórmula $\%pasa = R_c * f_a * WS * 100$ Donde: $f_a$ = factor equivalente a 1 $WS$ = peso del suelo (100 g)
12	A partir de los resultados obtenidos, se pudo identificar el tipo de material en función de los diámetros, estableciendo que los valores superiores a 0,002 mm se clasifican como limo, mientras que los inferiores se consideran arcilla.

**Nota:** Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Límites de Atterberg.** Para la clasificación del relave minero, es necesario determinar los límites de líquido y plástico (LL y LP), para ello, se seguirá el siguiente procedimiento:

- **Límite líquido (LL)** basada en la norma (D4318-17)

**Tabla 6.** Procedimiento para los ensayos de límite líquido.

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
<b>1</b>	Se recogió una muestra de 100 g de relave que había sido previamente cuarteada y que había pasado a través del tamiz N° 40. Esta muestra se mezcló con agua destilada. Durante este proceso de mezcla continua, se busca obtener una pasta homogénea.
<b>2</b>	La mezcla resultante se colocó sobre la cazuela del equipo de Casagrande y se dividió en dos partes mediante un ranurador. Luego, se gira la manivela, contando el número de golpes necesarios hasta que la ranura se cierre en un espacio de 1,25 cm.
<b>3</b>	Se tomó una pequeña muestra en el punto donde se cerró la ranura para determinar el contenido de humedad. Se repitió este proceso un mínimo de cuatro veces, acordando la cantidad de agua en pequeñas cantidades en cada repetición según fuera necesario, ya sea incrementándola o disminuyéndola para lograr la consistencia deseada
<b>4</b>	Es esencial que el número de golpes se distribuya tanto por debajo como por encima de los 25 requeridos. Esto garantiza la obtención de una gráfica que se represente como una línea recta.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

- **Limite plástico (LP)** basada en la norma (D4318-17)

**Tabla 7.** Procedimiento para el ensayo de límite plástico.

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
<b>1</b>	El relave minero que pasó por el tamiz #40 fue preparado, mezclándolo con agua hasta obtener una consistencia apropiada para amasar.
<b>2</b>	La mezcla fue amasada hasta lograr una textura que permitiera formar cilindros mediante el proceso de rolar el suelo.
<b>3</b>	El material fue rolando hasta obtener cilindros con un diámetro de 3 mm, momento en el cual se generaron grietas.
<b>4</b>	Los cilindros de 3 mm se introdujeron en dos recipientes previamente pesados, con el propósito de calcular el promedio del valor de humedad obtenido de cada uno.
<b>5</b>	Se pesaron los recipientes que contenían el suelo húmedo. Posteriormente, los recipientes fueron llevados a la estufa y una vez que el suelo seco, se volvió a pesar para obtener el peso final.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Densidad y Absorción.** Con base en la norma (NTE INEN 856:2010), el ensayo se procedió de la siguiente forma:

**Tabla 8.** Procedimiento para los ensayos de densidad y absorción.

Pasos	Proceso
1	Se procedió a preparar una muestra de aproximadamente 500 g, fue sometida a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 110° C con una tolerancia $\pm 5^\circ$ C hasta que alcanzara una masa constante. Tras este proceso, se permitió que la muestra se enfriara y se registró el valor de la masa resultante.
2	Posteriormente, la muestra fue completamente saturada al ser cubierta con agua y dejada en reposo durante un período de 24 horas para asegurar su total humedecimiento.
3	Después de este tiempo, la muestra se dispuso sobre una superficie plana y, utilizando una secadora a baja velocidad, se procedió al proceso de secado, con el material siendo movido constantemente para garantizar una distribución uniforme
4	Se procedió a colocar un molde de cono truncado sobre una superficie plana y se añadió el material hasta que completo aproximadamente la mitad del molde. Se aplicaron 10 golpes con un compactador, se añadió más árido y se repitió el proceso con 10 golpes adicionales. Esta operación se repitió dos veces más, aplicando 3 y 2 golpes respectivamente
5	Se niveló el material al ras de la parte superior, retirando el exceso de material en la base. El molde se levantó verticalmente, y si la muestra mantenía su forma, se procedió a continuar el secado hasta que se desmoronara parte del árido.
6	Cuando la muestra se desmoronó, se tomó una cantidad de 500 g y se colocó en un matraz. Se añadió agua y se agitó para eliminar las burbujas, llenando el matraz hasta la marca y fijando su peso.
7	Finalmente, se retiró el material del matraz, se secó en un horno a una temperatura de 110° C $\pm 5^\circ$ C hasta alcanzar una masa constante, se dejó enfriar durante una hora y se determinó su peso. Además, se pesó el matraz solo con agua hasta la marca.
8	Para calcular las densidades y la absorción, se emplean las siguientes fórmulas, donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>• A: representa la masa de la muestra desecada en el horno, medida en gramos.</li> <li>• B: indica la masa del picnómetro lleno con agua hasta su marca de referencia, en gramos.</li> <li>• C: denota la masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta su marca de referencia, en gramos.</li> <li>• S: es la masa de la muestra saturada superficialmente y luego desecada (empleada en el método gravimétrico para determinar la densidad y la densidad relativa, o para calcular la absorción en ambos procedimientos), expresada en gramos</li> </ul>
9	Densidad relativa (gravedad específica) SH: $SH = \frac{A}{B+S-C}$
10	Densidad relativa (gravedad específica) SSS: $SSS = \frac{S}{B+S-C}$
11	Densidad Relativa aparente (gravedad específica aparente): $GEA = \frac{A}{B+A-C}$
12	Absorción: $Absorción, \% = (S-A) A * 100$

**Nota:** Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

### 5.2.1.2. Caracterización química del relave minero

**Conductividad eléctrica, salinidad y pH.** Según (Sánchez, 2019), la elaboración de los ensayos químicos del relave minero se considera el procedimiento detallado a continuación:

**Tabla 9.** Procedimiento de los ensayos de caracterización química de los relaves

Pasos	Proceso
1	Se recolectaron 3 muestras de relave previamente mezclado y cuarteado.
2	Cada muestra se colocó en un vaso de precipitación hasta alcanzar aproximadamente la marca de 50 ml, y se le añadieron 250 ml de agua destilada
3	Luego, se procedió a agitar la muestra sumergida con la ayuda de un agitador hasta asegurar su completa disolución, y se dejó reposar durante 24 horas
4	Después de este período, y una vez confirmado que toda la muestra se había sedimentado, se separó la mayor parte del líquido en otro vaso de precipitación..
5	La porción líquida separada fue analizada utilizando el equipo Thermo Orion 420A+. Para ello, se sumergió la sonda del equipo en cada muestra a analizar, llevando a cabo tres mediciones de las cuales se obtuvo un promedio. Este valor promedio representa el resultado final de salinidad, conductividad y pH.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

### 5.2.1.3. Caracterización física del suelo

#### Clasificación del material, SUCS y ASSHTO.

**Análisis granulométrico. Análisis por tamizado y módulo de finura.** El análisis de las muestras del suelo proveniente de la ciudadela “Jardines de Punzara” se llevó a de acuerdo a la norma (NTE INEN 696:2011), A continuación, se detallan el procedimiento y los requisitos establecidos:

**Tabla 10.** Procedimiento para el análisis por tamizado y módulo de finura.

Pasos	Proceso
1	Se eligió una muestra de suelo y se lavó a través del tamiz N° 200 para prevenir que el material más fino se adhiriera a las mallas de los tamices.
2	El material lavado se secó en un horno a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
3	Se seleccionaron los tamices N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 con el objetivo de obtener información detallada sobre el material. Cada tamiz fue pesado y ordenado en orden decreciente según el tamaño de abertura, de arriba hacia abajo.
4	El material seco fue dispuesto en la parte superior de los tamices con la ayuda de una brocha para evitar pérdidas, y se ubicaron en la tamizadora mecánica durante 10 minutos.
5	Después de completar el tamizado, se pesó cada tamiz con la muestra, calculando la masa retenida en cada uno. Además, se calculó la masa total, la cual debía ser similar a la masa original.
6	Finalmente, se calculó el módulo de finura basándose en la suma del porcentaje total retenido acumulado en cada tamiz, dividido por 100.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Contenido de humedad.** Este parámetro se calculó de manera inmediata, trasladando el material de la planta de beneficio al laboratorio de suelos de la Universidad nacional de Loja, con la finalidad de no alterar su porcentaje de agua, el procedimiento del cálculo se realizó con base a la norma (NTE INEN 862:2011), el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

**Tabla 11.** Procedimiento para el análisis de contenido de humedad.

Pasos	Proceso
1	Se colocó la arena de relaves sobre una bandeja, se extendió en su totalidad, se cuarteó 3 veces para homogeneizar y así tomar varias muestras representativas.
2	Las muestras seleccionadas fueron ubicadas en cápsulas con su etiqueta respectiva
3	Se empleó una balanza analítica para determinar su peso, registrando este valor como "W" (masa inicial de la muestra).
4	Las muestras fueron colocadas en un horno a una temperatura de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un período de 24 horas.
5	Después de retirar las muestras del horno, se volvió a pesar la muestra y se registró este peso como "D" (masa final de la muestra).
6	El contenido total de humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula: $= 100 \cdot \frac{(W-D)}{D}$ Donde: W = masa inicial (gr) D = masa seca (gr)

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Límites de Atterberg.** Para la clasificación del relave minero, es necesario determinar los límites de líquido y plástico (LL y LP), para ello, se seguirá el siguiente procedimiento:

- **Límite líquido (LL)** basada en la norma (D4318-17)

**Tabla 12.** Procedimiento para los ensayos de límite líquido.

Pasos	Proceso
1	Se recogió una muestra de 100 g de suelo que había sido previamente cuarteada y que había pasado a través del tamiz N° 40. Esta muestra se mezcló con agua destilada. Durante este proceso de mezcla continua, se busca obtener una pasta homogénea.
2	La mezcla resultante se colocó sobre la cazuela del equipo de Casagrande y se dividió en dos partes mediante un ranurador. Luego, se gira la manivela, contando el número de golpes necesarios hasta que la ranura se cierre en un espacio de 1,25 cm.
3	Se tomó una pequeña muestra en el punto donde se cerró la ranura para determinar el contenido de humedad. Se repitió este proceso un mínimo de cuatro veces, acordando la cantidad de agua en pequeñas cantidades en cada repetición según fuera necesario, ya sea incrementándola o disminuyéndola para lograr la consistencia deseada
4	Es esencial que el número de golpes se distribuya tanto por debajo como por encima de los 25 requeridos. Esto garantiza la obtención de una gráfica que se represente como una línea recta.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

- **Limite plástico (LP)** basada en la norma (D4318-17)

**Tabla 13.** Procedimiento para el ensayo de límite plástico.

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
1	El suelo que pasó por el tamiz #40 fue preparado, mezclándolo con agua hasta obtener una consistencia apropiada para amasar.
2	La mezcla fue amasada hasta lograr una textura que permitiera formar cilindros mediante el proceso de rolar el suelo.
3	El material fue rolando hasta obtener cilindros con un diámetro de 3 mm, momento en el cual se generaron grietas.
4	Los cilindros de 3 mm se introdujeron en dos recipientes previamente pesados, con el propósito de calcular el promedio del valor de humedad obtenido de cada uno.
5	Se pesaron los recipientes que contenían el suelo húmedo. Posteriormente, los recipientes fueron llevados a la estufa y una vez que el suelo seco, se volvió a pesar para obtener el peso final.

*Nota:* Tabla recopilada y modificada de (Sánchez, 2019)

**Contenido de humedad y densidad máxima.** del suelo proveniente de la ciudadela "Jardines de Punzara" se vinculan con su capacidad para reducir al máximo su porosidad y se evalúan mediante el ensayo Proctor estándar, el cual se basa en la normativa (AASHTO T-180)

**Tabla 14.** Procedimiento para realizar la prueba compactación

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
1	La muestra representativa, que pesaba alrededor de 50 libras de material, fue sometida a un proceso de secado tanto al aire libre como en un horno a una temperatura de 60°C.
2	Se extrajeron 3 kilogramos (peso nominal) de suelo, el cual fue previamente triturado para que pase a través del tamiz #4.
3	Se procedió a mezclar la cantidad precisa de agua para aumentar la humedad, mezclando a fondo la muestra hasta lograr una consistencia uniformemente húmeda, eliminando cualquier grumo presente.
4	La mezcla húmeda fue dividida en aproximadamente cinco partes iguales.
5	Se determinó el peso del molde de compactación en la balanza de 20 kilogramos, sin el collarín, y luego de pesar, se colocó el collarín y se posicionó el molde sobre una base firme.
6	Una porción de la mezcla húmeda fue colocada en el molde, nivelando la superficie ya sea con la mano o con la ayuda de un martillo de compactación.
7	Se colocó el martillo de compactación en el molde y se elevó sobre el mango hasta que el pisón alcanzó la parte superior de la guía; luego, se soltó, permitiendo que cayera libremente sobre la muestra, sin aplicar fuerza adicional con la mano (caída libre).
8	Este proceso se repitió hasta cubrir uniformemente toda la superficie de la muestra, completando tres capas con 25 golpes cada una.
9	Se retiró el anillo y se recortó la muestra con una regla de 12 pulgadas hasta que los bordes del molde de compactación estuvieran nivelados, verificando la nivelación con la regla
10	Se eliminó cualquier exceso de material que quedó fuera del molde para dejarlo limpio, y se volvió a pesar en la balanza de 20 kilogramos. Este peso se denominó Peso Bruto Húmedo (PBH).
11	Se retiró todo el suelo contenido en el molde y se tomaron dos muestras del contenido de humedad del centro del material extraído del molde. Se utilizó el valor promedio para los

---

	cálculos; si había una discrepancia significativa entre los valores, se descartaba uno de los dos.
<b>12</b>	Se procuró que la variación entre los porcentajes de humedad en cada punto fuera alrededor del 2% al 3%
<b>13</b>	Se repitieron los pasos del 3 al 11 en cada punto del ensayo hasta que el peso de la muestra compactada mostrara una disminución en relación con el aumento del contenido de humedad, indicando que el "Proctor" había alcanzado su límite y se suspendió la prueba.
<b>14</b>	Las muestras se colocaron en el horno para determinar su contenido de humedad y se revisaron al día siguiente para obtener el promedio real del contenido de humedad de cada ensayo.

---

**Nota:** Tabla recopilada y modificada de (AASHTO T-180)

### 5.2.2. Metodología para el segundo objetivo

#### “Determinar la dosificación idónea para la fabricación de BTC”

Para establecer la cantidad adecuada de los insumos en la producción de los Bloques de Tierra Comprimida, se consideró los siguientes aspectos:

- **Suelo.** El suelo seleccionado se tomó a una profundidad de 30 cm, descartando el primer horizonte. De acuerdo con la investigación realizada por (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019), se aconseja que el suelo empleado para el proceso contenga entre el 25% y 35% de fracción fina, compuesta por arcilla y limo. Dentro de esta proporción, se sugiere que el contenido exclusivo de arcilla sea aproximadamente del 10%. En cuanto a la fracción gruesa, compuesta por arena y grava, el porcentaje restante debería situarse entre el 65% y el 75%.
- **Agua.** La incorporación del contenido porcentual de agua está vinculada a los resultados obtenidos en la prueba de compactación Proctor Estándar, y su origen está asociado al sistema de abastecimiento de agua potable del área en donde se llevó a cabo la producción de bloques de tierra comprimida (BTC).
- **Aglomerante.** La determinación del porcentaje de aglomerante a sumar está asociada a la categorización del suelo, siguiendo las pautas indicadas en la Tabla 15. Estas tablas proporcionan un rango específico para el porcentaje de cemento a utilizar, que se determina en función de las características del suelo.

**Tabla 15.** Intervalo óptimo de cemento para el proceso de estabilización.

Clasificación del suelo por el sistema A.A.S.H.T.O.		Peso del cemento para estabilización (%)	
<b>Suelo Granular</b>	A1	A-1-a	5-7
		A-1-b	6-9
	A2	A-2-4	7-10
		A-2-5	
		A-2-6	
A-2-7	8-12		
<b>Suelo Fino</b>	A3	8-12	
	A4	8-12	
	A5	8-12	
	A6	A-7-8	8-12
	A7	A-7-6	10-14
			10-14

*Nota:* Tabla recopilada de (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019)

**Tabla 16.** Densidad seca y evaluación del comportamiento, bloque estabilizado

Densidad seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Evaluación
1650 – 1760	Pobre
1760 – 2100	Muy satisfactorio
2100 – 2200	Excelente
2200 – 2400	Excepcional

*Nota:* Tabla recopilada de (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019)

Los rangos de densidad seca y su análisis definen el desempeño del bloque estabilizado, evaluado conforme a lo especificado en la Tabla 17

**Tabla 17.** Contenido de humedad y estabilizador recomendado

Humedad Óptima	Evaluación	Potencial de estabilización	Estabilizador recomendado
7 – 9	Buena	Fácil	Cemento
9 – 17	Excelente	Fácil	Cemento y cal
17 – 22	Aceptable	Difícil	Cemento y cal
22 – 25	Posiblemente aceptable	Difícil	Cal

*Nota:* Tabla recopilada de (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019)

### 5.2.2.1. Proceso de fabricación de Bloques de Tierra Comprimida (BTC)

En esta etapa se hizo uso del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja y se tomó en cuenta los siguientes pasos:

**Tabla 18.** Proceso de elaboración de BTC

Pasos	Proceso
1 Preparación de muestras	Se seleccionó tierra adecuada a una profundidad de 30 centímetros, eliminando fragmentos de roca no adecuados, hojas y escombros mediante tamizado. La tierra preparada fue triturada para eliminar terrones
2 Mezcla de los ingredientes	La tierra tamizada se combinó con una mezcla de arena y cemento, se revolvió en la mezcladora y se añadió agua. Se repitió este proceso con diferentes dosificaciones, incrementando el porcentaje de la arena de relaves en lugar de arena de río. Se implementó un sistema estadístico para un diseño más eficiente.
3 Moldeado y prensado	La mezcla preparada se introdujo en la prensa y se aplicó una presión de aproximadamente 20 toneladas para compactar y dar forma a las piezas. Los bloques resultantes fueron retirados con cuidado de la prensa y colocados en un lugar apropiado para reposar durante 24 a 48 horas.
4 Curado	Después del periodo de reposo, los bloques fueron saturados llevándolos al tanque de curado para ganar resistencia. Se permitió que los bloques se curaran durante un período de aproximadamente 7, 14 y 28 días. Posteriormente, fueron retirados del tanque de curado y para evaluar su comportamiento mecánico.

### 5.2.3. Metodología para el tercer objetivo

#### *“Evaluar el comportamiento mecánico de los bloques de hormigón”*

Los ladrillos fueron puestos a prueba mediante el ensayo de compresión simple para evaluar su resistencia, es decir, la capacidad de soportar cargas, información necesaria para valorar si el BTC cumple con la normativa técnica ecuatoriana para su uso en construcción.

**Tabla 19.** Proceso para el desarrollo del ensayo de compresión simple

<b>Pasos</b>	<b>Proceso</b>
Preparación de muestras	Se seleccionó un número representativo de BTC y se procedió a montarlos en la máquina de compresión.
Aplicación de carga	La máquina aplicó una carga axial gradual y constante sobre el BTC, controlando la velocidad de aplicación de la carga para obtener resultados precisos.
Registro de datos	Durante el experimento, se recopilaron datos como la carga aplicada y la deformación de los ladrillos, lo que permitió la construcción de una curva de carga-deformación.
Punto de ruptura	El ensayo se prolongó hasta que los ladrillos se fracturaron. Se registró el punto en el que ocurrió esto para calcular la resistencia a la compresión de los ladrillos.
Cálculo de la resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión se determinó dividiendo la carga máxima soportada por el BTC entre el área de su sección transversal. Esto proporcionó una medida de la capacidad del ladrillo para resistir cargas verticales

El procedimiento para seleccionar cada muestra de ladrillo se lleva a cabo de manera aleatoria, siguiendo las directrices de la norma (NTE INEN 292), donde cada unidad del lote tiene la misma posibilidad de ser elegido para representar la muestra.

De acuerdo con la normativa (NTE INEN 294), se requiere 5 ladrillos secos, completos y sin defectos visibles, cortados con herramientas adecuadas para evitar daños en sus bordes, para llevar a cabo la evaluación de la resistencia a la compresión

La Norma Ecuatoriana de Construcción no incluye disposiciones específicas para regular los bloques de tierra compactada o estabilizada. Sin embargo, aborda la seguridad estructural de las edificaciones en su capítulo correspondiente. En este sentido, se enfoca en el diseño con mampostería confinada y establece criterios para la aceptación de unidades de arcilla cocida.

Según la normativa, se establece que: “Las unidades utilizadas en la construcción de muros de mampostería confinada deben cumplir como mínimo con las resistencias indicadas

en la **Tabla 20**. La resistencia especificada se refiere a la fuerza de rotura dividida por el área bruta del bloque o ladrillo” (NEC 11)

**Tabla 20.** Resistencia mínima  $f'_{cu}$

Tipo de Unidad	$f'_{cu}$ (MPa)
Ladrillo macizo	2
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de hormigón o de arcilla	3

**Nota:** Recopilado de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 11)

De acuerdo con la normativa (NTE INEN 297), se definen los criterios que deben cumplir los ladrillos cerámicos empleados en la construcción.

Para aplicaciones en muros estructurales, se establece un requisito mínimo de resistencia de 5 Mpa. La resistencia a la compresión simple se calcula por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{A}$$

Dado que:

$C$  representa la resistencia a la compresión, en Megapascales (MPa),

$P$  denota la carga de rotura, en Newtons (N),

$A$  es el área de las secciones en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ),

La superficie  $A$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = a \cdot l$$

Siendo

$a$  = ancho (mm)

$l$  = largo (mm)

### 5.3. Resumen de Normas Técnicas para los ensayos

**Tabla 21.** Resumen de Normas Técnicas utilizadas para los ensayos

Ensayo	Norma
Contenido de Humedad	NTE INEN 862:2011
Análisis granulométrico (por tamizado y módulo de finura)	NTE INEN 696:2011
Análisis granulométrico (por el método del hidrómetro)	ASTM D-422
Densidad y Absorción	NTE INEN 856:2010
Clasificación del material, SUCS y ASSHTO	ASTM 423-66
Proctor Estándar	AASHTO T-180, n.d.,
Muestreo de probetas para Resistencia de Compresión	NTE INEN 292
Evaluación de Resistencia de Compresión	NTE INEN 294
Ladrillo cerámico. Requisitos	NTE INEN 297

**Nota:** Es fundamental tener en cuenta que todos los ensayos deben ser realizados siguiendo las normativas técnicas adecuadas. Estas normativas proporcionan pautas y directrices que garantizan la calidad, coherencia y precisión del trabajo académico. Al adherirse a estas normas, se asegura que el ensayo cumpla con los estándares aceptados en el campo específico de estudio, facilitando así su comprensión y evaluación

## 6. Resultados

### 6.1. Área de estudio

La planta de Beneficio “Reina del Cisne II” código 390015, cuyo Titular del derecho minero es La Corporación Minera MINERMIR S.A., se encuentra ubicada en el sector El Pache, cantón Portovelo, provincia de El Oro.

#### 6.1.1. Ubicación Geográfica

**Tabla 22.** Coordenadas, Planta de Beneficio “Reina del Cisne II” código 390015

DATOS GENERALES DE LA PLANTA DE BENEFICIO			
<b>Nombre:</b>	Planta de Beneficio “Reina del Cisne II”		
<b>Titular Minero:</b>	Corporación Minera Miranda MINERMIR S.A.		
<b>Sector:</b> El Pache	<b>Parroquia:</b> Zaruma	<b>Cantón:</b> Portovelo	<b>Provincia:</b> El Oro
COORDENADAS			
<b>DATUM:</b> PSAD 56		<b>DATUM:</b> WGS 84	
X	Y	X	Y
651951.01	9590580.15	651701.25	9590216.62

#### 6.1.2. Acceso

La ruta desde Loja, se realiza desde el terminal terrestre se dirige por la vía: Panamericana / Transversal Sur / Troncal de la Sierra hasta llegar a la ciudad de Catamayo, se continúa por la vía de primer orden hasta el sector Las Chinchas, se gira a la derecha cambiando a una vía de tercer orden hasta llegar a Portovelo.

Otra alternativa de ruta es desde la ciudad de Machala, para ello se toma la vía: Machala / Santa Rosa / Piñas / Zaruma, hasta la altura de la “Y” hacia Zaruma, o Portovelo diagonal a la estación de servicio El Pache. La concesión minera se ubica al Sur a 100 metros aproximadamente.



**Figura 2.** Mapa de Ubicación de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II.

## 6.2. Caracterización del Relave Minero

El relave minero se evaluó mediante su caracterización física y química, los ensayos analizados se describen a continuación:

**Tabla 23.** Ensayos desarrollados para la caracterización del Relave Minero

Caracterización del Relave Minero	
Caract. Física	Caract. Química
Contenido de Humedad.	Conductividad
Análisis granulométrico por tamizado	Eléctrica,
Análisis granulométrico por hidrómetro.	pH.
Límites de Atterberg.	Salinidad.
Clasificación SUCS y ASSHTO.	
Densidad y Absorción.	

### 6.2.1. Caracterización física

#### ❖ Clasificación SUCS y ASSHTO

→ **Contenido de Humedad.** Los resultados del análisis de humedad fueron recopilados a través de seis puntos de muestreo.

**Tabla 24.** Resultados del ensayo de Contenido de Humedad.

W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	W (%)
138.70	127.75	30.30	11.24
146.66	134.93	27.93	10.96
143.69	132.96	27.56	10.18
142.36	130.45	28.96	11.74
138.99	128.56	29.41	10.52
141.52	130.01	28.22	11.1
<b>Promedio</b>			<b>10.99</b>

→ **Densidad y Absorción.** La determinación de la densidad o gravedad específica del relave se llevó a cabo mediante la ejecución del ensayo conforme a la norma NTE INEN 859

**Tabla 25.** Resultados del ensayo de Densidad y Absorción

No. Muestra	Densidad relativa (SH)	Densidad relativa (SSS)	Densidad Relativa Aparente	Absorción (%)
1	2.68	2.73	2.83	2.04
2	2.69	2.74	2.85	2.06
3	2.64	2.69	2.79	2.00
<b>Promedio</b>	<b>2.67</b>	<b>2.72</b>	<b>2.82</b>	<b>2.03</b>

→ Análisis granulométrico por tamizado

Tabla 26. Resultados del análisis granulométrico del relave minero

MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
# 8	2,9	2,9	0,32	99,68	99,68	0,32
# 10	0,1	3	0,33	99,67	99,67	0,33
# 16	1	4	0,44	99,56	99,56	0,44
# 20	0,6	4,6	0,51	99,49	99,49	0,51
# 30	0,7	5,3	0,59	99,41	99,41	0,59
# 40	1,5	6,8	0,76	99,24	99,24	0,76
# 50	3,4	10,2	1,13	98,87	98,87	1,13
# 60	14,3	24,5	2,72	97,28	97,28	2,72
# 100	221,1	245,6	27,29	72,71	72,71	27,29
# 200	309,4	555	61,67	38,33	38,33	61,67
<b>PASA #200</b>	1818.54	1818.54	76.62			
<b>SUMAN</b>	2373.54	2973.54	100			

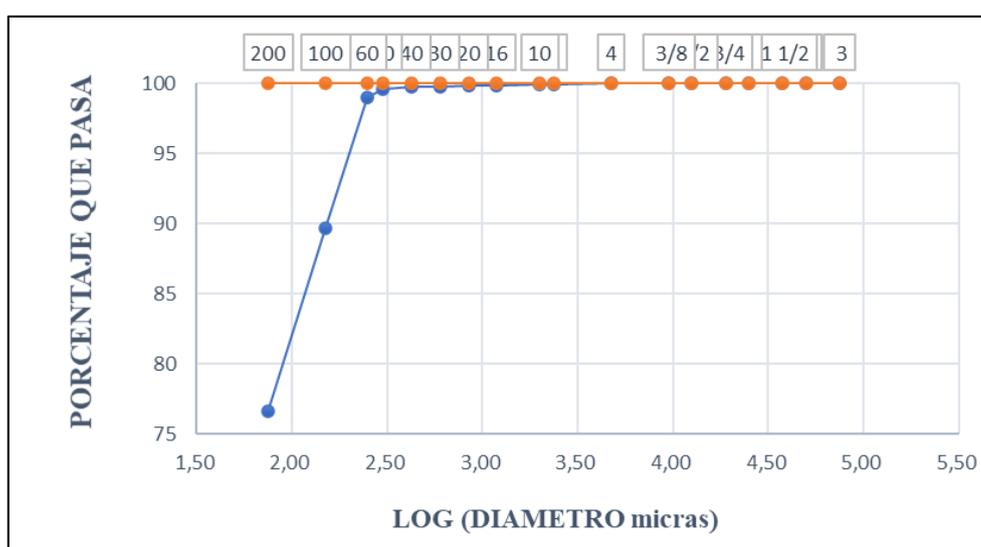


Figura 2. Granulometría del relave minero

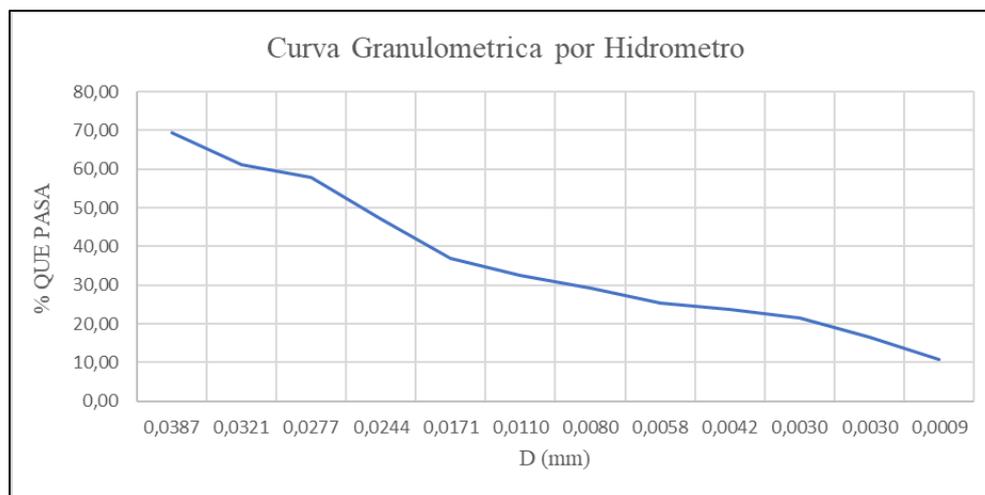
→ **Análisis granulométrico por el método del hidrómetro**

Los datos de granulometría mediante el empleo de hidrómetros se presentan en la **Tabla 27**. Estos datos son representativos de las muestras que han pasado a través del Tamiz N° 200

**Tabla 27.** Granulometría por el método del hidrómetro del relave

<b>D (mm)</b>	<b>% QUE PASA</b>
<b>0,0387</b>	69,50
<b>0,0321</b>	61,25
<b>0,0277</b>	57,86
<b>0,0244</b>	47,12
<b>0,0171</b>	36,93
<b>0,0110</b>	32,52
<b>0,0080</b>	29,35
<b>0,0058</b>	25,48
<b>0,0042</b>	23,68
<b>0,0030</b>	21,56
<b>0,0030</b>	16,53
<b>0,0009</b>	10,89

Basándonos en los promedios de los valores obtenidos de las tres muestras analizadas, se ha generado la curva Granulométrica, la cual se exhibe en la siguiente figura:



**Figura 3.** Curva granulométrica por el método del hidrómetro

**Nota:** Relación entre el % que pasa y el D(mm) diámetro de las partículas

→ **Límites de Atterberg.**

Debido a su alto contenido de arena no es posible realizar los límites de atterberg, es por ello que el material es considerado “NO PLASTICO”

**Tabla 28.** Resultados de los límites de Atterberg

<b>LL =</b>	0,00 %
<b>LP =</b>	0,00 %
<b>IP =</b>	0,00 %

**Tabla 29.** Clasificación del relave minero

<b>CLASIFICACION</b>	
<b>SUCS</b>	ML (Limo con Arena)
<b>AASHTO</b>	A-4 (Suelo limoso - Regular a pobre)

**6.2.2. Caracterización química**

→ **Conductividad Eléctrica, pH y Salinidad**

**Tabla 30.** Resultados, conductividad eléctrica, pH y Salinidad del Relave Minero

<b>No. Muestra</b>	<b>W. Muestra (g)</b>	<b>TDS</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (µs)</b>	<b>Salinidad (%)</b>
<b>1</b>	50	423	7.39	874	0.4
<b>2</b>	50	440	7.39	907	0.4
<b>3</b>	50	429	7.39	895	0.4
<b>TOTAL</b>		<b>431</b>	<b>7.39</b>	<b>892</b>	<b>0.4</b>
		Baja Mineralización	Ligeramente Alcalino	Moderada	Moderada

### 6.3. Caracterización del Suelo

Previo a la elaboración del diseño experimental, se llevó a cabo el estudio del suelo situado en la ciudadela “Jardines de Punzara”, perteneciente a la parroquia Punzara, ciudad y provincia de Loja, con el fin de evaluar su idoneidad para el propósito previsto.

#### 6.3.1. Ubicación Geográfica

**Tabla 31.** Coordenadas del suelo de la ciudadela Jardines de Punzara

<b>DATOS GENERALES DEL SUELO</b>	
<b>Sector:</b>	Jardines de Punzara
<b>Parroquia:</b>	Punzara
<b>Cantón:</b>	Loja
<b>Provincia:</b>	Loja
<b>COORDENADAS</b>	
<b>DATUM:</b>	WGS 84
<b>X</b>	698476.01
<b>Y</b>	9554236.12

#### 6.3.2. Acceso

La ruta en la ciudad de Loja comienza en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja. Iniciando el recorrido hacia el sur hacia la avenida Reinaldo Espinosa. Luego, en la segunda rotonda, se gira a la derecha para ingresar a la vía lateral de paso Ángel F. Rojas. Se continúa por esta vía durante aproximadamente 1 kilómetro hasta llegar a la ciudadela “Jardines de Punzara”



Figura 4. Mapa de Ubicación de la muestra de Suelo

### 6.3.3. Caracterización física del suelo

#### ❖ Clasificación SUCS y ASSHTO

→ **Contenido de Humedad.** El análisis de humedad fue recopilados a través de seis puntos de muestreo, se describen a continuación:

**Tabla 32.** Resultados del ensayo de Contenido de Humedad

W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	W (%)
124,83	111,11	23,41	15,64
166,70	148,80	30,93	15,21
126,82	113,56	25,69	15,09
135,69	120,98	26,00	15,49
145,89	130,00	25,69	15,23
128,74	115,00	23,00	14,93
<b>Promedio</b>			<b>15,26</b>

→ **Límites de Atterberg**

**Tabla 33.** Limite líquido y limite plástico del Suelo.

	GOLPES	W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	W %	RESULTADO %
<b>LÍMITE LIQUIDO</b>	35,00	38,45	35,84	21,12	17,73	<b>30,63</b>
	29,00	37,00	34,51	24,48	24,83	
	23,00	44,76	39,70	24,74	33,82	
	17,00	35,88	32,43	24,85	45,51	
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		9,18	8,75	7,21	27,92	<b>27,93</b>
		9,77	9,20	7,16	27,94	

**Tabla 34.** Resultados de los límites de Atterberg del Suelo.

<b>LL =</b>	31.00 %
<b>LP =</b>	28.00 %
<b>IP =</b>	3.00 %

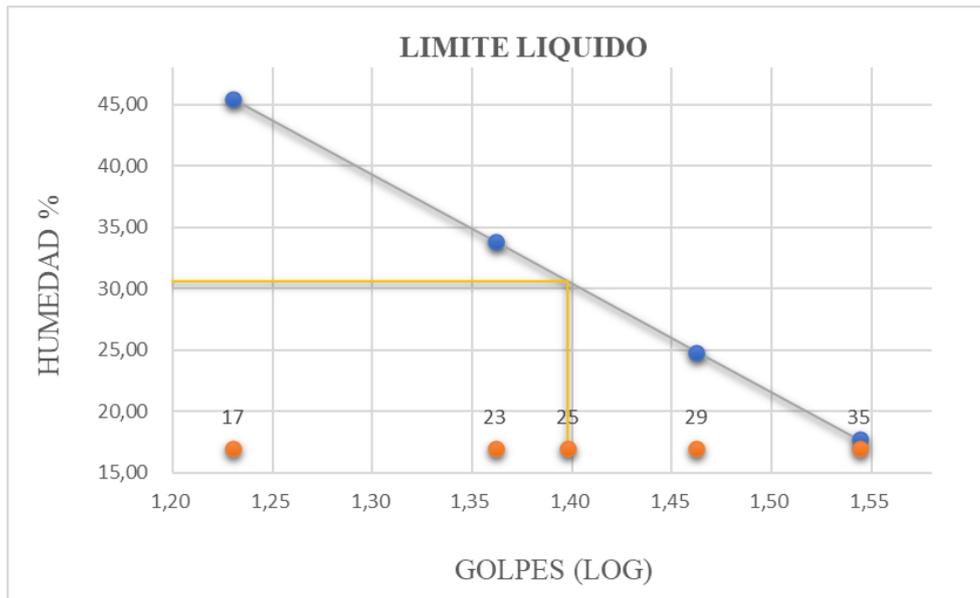
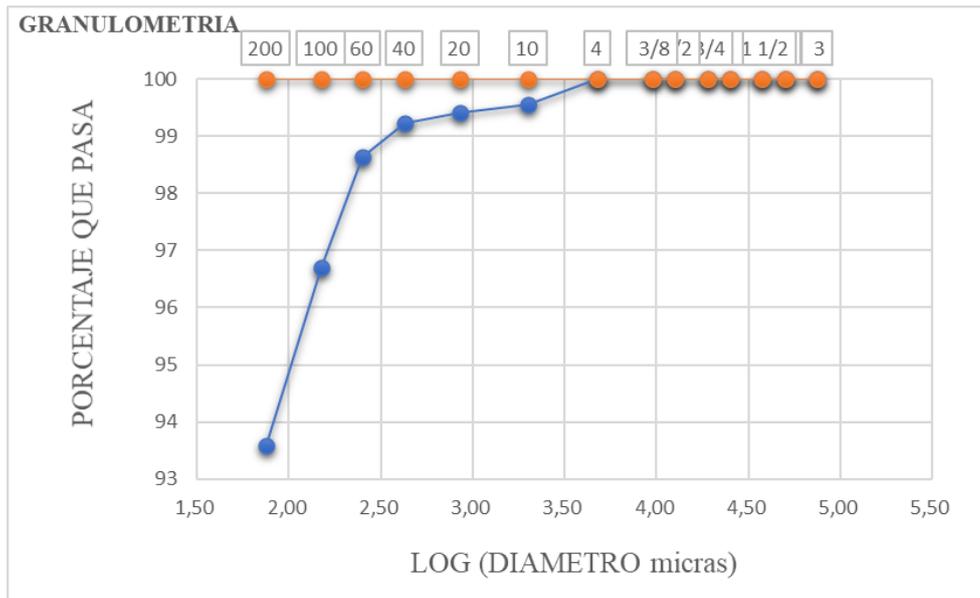


Figura 5. Línea de Tendencia del Límite Líquido del Suelo.

→ **Análisis Granulométrico**

Tabla 35. Resultados del análisis granulométrico del suelo

MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
# 10	15,30	15,30	2,67	97,33	97,33	2,67
# 20	4,80	20,10	3,51	96,49	96,49	3,51
# 40	4,30	24,40	4,26	95,74	95,74	4,26
# 60	20,40	44,80	7,83	92,17	92,17	7,83
# 100	67,10	111,90	19,55	80,45	80,45	19,55
# 200	107,90	219,80	38,39	61,61	61,61	38,39
<b>PASA #200</b>	3459.40	3459.40				
<b>SUMAN</b>	3679.20	3679.20	100			



**Figura 6.** Granulometría del suelo.

→ **Clasificación SUCS y ASSHTO**

**Tabla 36.** Clasificación SUCS y ASSHTO del suelo

<b>GRAVA=</b>	0
<b>ARENA=</b>	38,39
<b>FINOS=</b>	61,61
<b>LL =</b>	31
<b>LP =</b>	28
<b>IP =</b>	3
<b>cu</b>	33,25
<b>cc</b>	0,5
<b>SUCS</b>	ML (Limo)
<b>AASTHO</b>	A-4 (Suelo limoso)

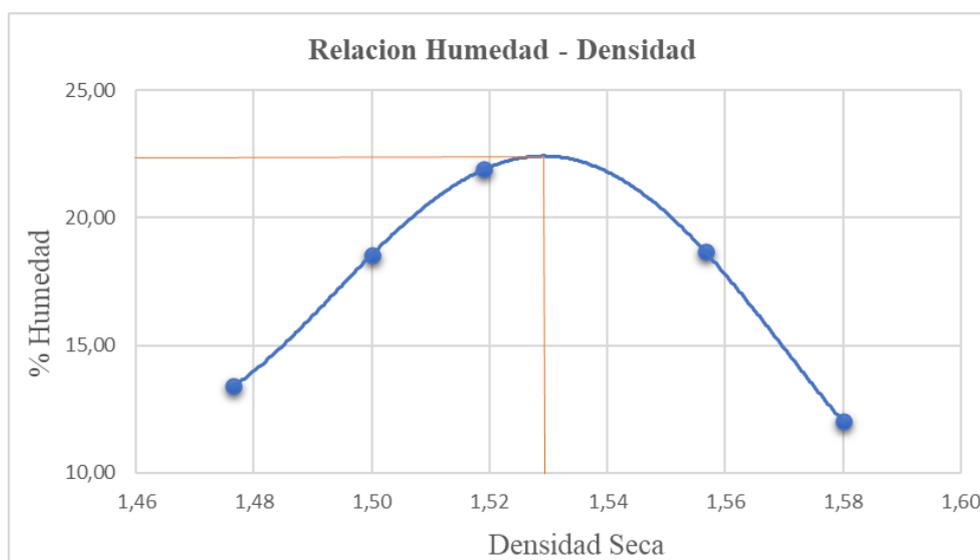
→ **Contenido de humedad y densidad máxima (Prueba de Proctor Estándar).**

Permite determinar la correlación entre la densidad seca y el contenido de agua.

**Tabla 37.** Resultados del ensayo de compactación (Proctor Estándar).

Ensayos	1	2	3	4	5
<b>Densidad seca (gr/cc)</b>	1,48	1,50	<b>1,53</b>	1,56	1,58
<b>Contenido de humedad (%)</b>	13,38	18,54	<b>21,90</b>	18,65	12,02

Densidad máxima (1.53 gr/cc) y Humedad Óptima (21.90%), requeridas para la adopción del porcentaje de agua en la elaboración de BTC.



**Figura 7.** Curva de Compactación del ensayo de Proctor Estándar.

#### 6.4. Dosificación de los Bloques de Tierra Comprimida

Conforme con la indagación de (Arteaga, Median, & Gutierrez, 2011), los bloques de tierra comprimida (BTC) se fabrican mediante la combinación de tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%), seguido de un proceso de compactación. Previo al planteamiento del diseño experimental, el estudio del suelo procedente de la ciudadela “Jardines de Punzara”, lo clasifica como "Limo-ML" según la SUCS y como "A-4, Suelo limoso" según la AASHTO, con un contenido de arcilla superior al 10%.

**Tabla 38.** Características del suelo de la ciudadela “Jardines de Punzara”

Detalle	Suelo Estudiado	Rango de Tolerancia	Rango más adecuado
<b>Textura</b>			
Arcilla (%)	<b>93.65</b>	10 - 20	25 - 35
Limo (%)		10 - 20	Arcilla = +10
Arena (%)	<b>6.35</b>	50 - 65	65 - 75
Grava (%)	<b>0</b>	0 - 20	
<b>Plasticidad</b>			
Índice plástico (IP)	<b>3</b>	7 - 29	7 - 13
Límite líquido (LL)	<b>31</b>	20 - 50	20 - 35
Límite plástico (LP)	<b>28</b>	10 - 25	12 - 22
<b>Compresibilidad</b>			

Humedad óptima (%)	<b>21.90</b>	7 - 25	7 - 17
Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1500</b>	> 1650	> 1760
<b>Clasificación</b>			
<b>SUCS</b>	Limo – ML		
<b>AASHTO</b>	A – 4, Suelo limoso		

*Nota:* Tabla basada en la investigación de (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019)

#### **A. Elección de la proporción de aglomerante.**

La elección del porcentaje de aglomerante se basa en la clasificación del suelo, siguiendo las pautas proporcionadas en la Tabla 13. Esta tabla establece un rango adecuado de cemento para la estabilización de suelos finos o limosos (A-4), con un porcentaje que varía entre el 8% a 12%. En el contexto de la producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC), se optó por un valor del 11%. Debido a que el potencial de estabilización es difícil, la adopción de Cal es necesaria, es por ello que se añadió el 3% con respecto que el cemento.

#### **B. Adopción del porcentaje de agua**

La inclusión del contenido porcentual de agua se vincula directamente con la prueba de compactación, cuyo valor se obtiene a través del ensayo de Proctor Estándar, como se detalla en la Tabla 38, la humedad óptima para la compactación es establece un 22%.

#### **C. Porcentaje de arena y relave minero**

En cuanto a la arena, no se requieren especificaciones complicadas; simplemente debe pasar por una zaranda con malla de 16 mm<sup>2</sup>, este proceso simple garantiza la granulometría adecuada para lograr una cohesión óptima durante la compactación.

Por último, se planteó sustituir el contenido de arena (6.20%) con relave minero en diferentes proporciones (1.55%, 3.10%, 4.65%, y 6.20%).

#### **D. Diseño experimental**

A continuación, se presenta la propuesta de dosificación que garantizará la uniformidad y resistencia necesaria para obtener bloques de tierra comprimida de alta calidad. Esta propuesta consta de cinco dosificaciones, comenzando desde la dosificación estándar y hasta el reemplazo total del relave minero por la arena.

**Tabla 39.** Dosificación en peso de las distintas series de BTC

SERIE	TIERRA (%)	ARENA (%)	RELAVE MINERO (%)	CEMENTO (%)	CAL (%)	AGUA (%)	TOTAL (%)
A	82.75	6.20	-	11.05	3	22	100
B	82.75	4.65	1.55	11.05	3	22	100
C	82.75	3.10	3.10	11.05	3	22	100
D	82.75	1.55	4.65	11.05	3	22	100
E	82.75	-	6.20	11.05	3	22	100

### E. Proceso de curado

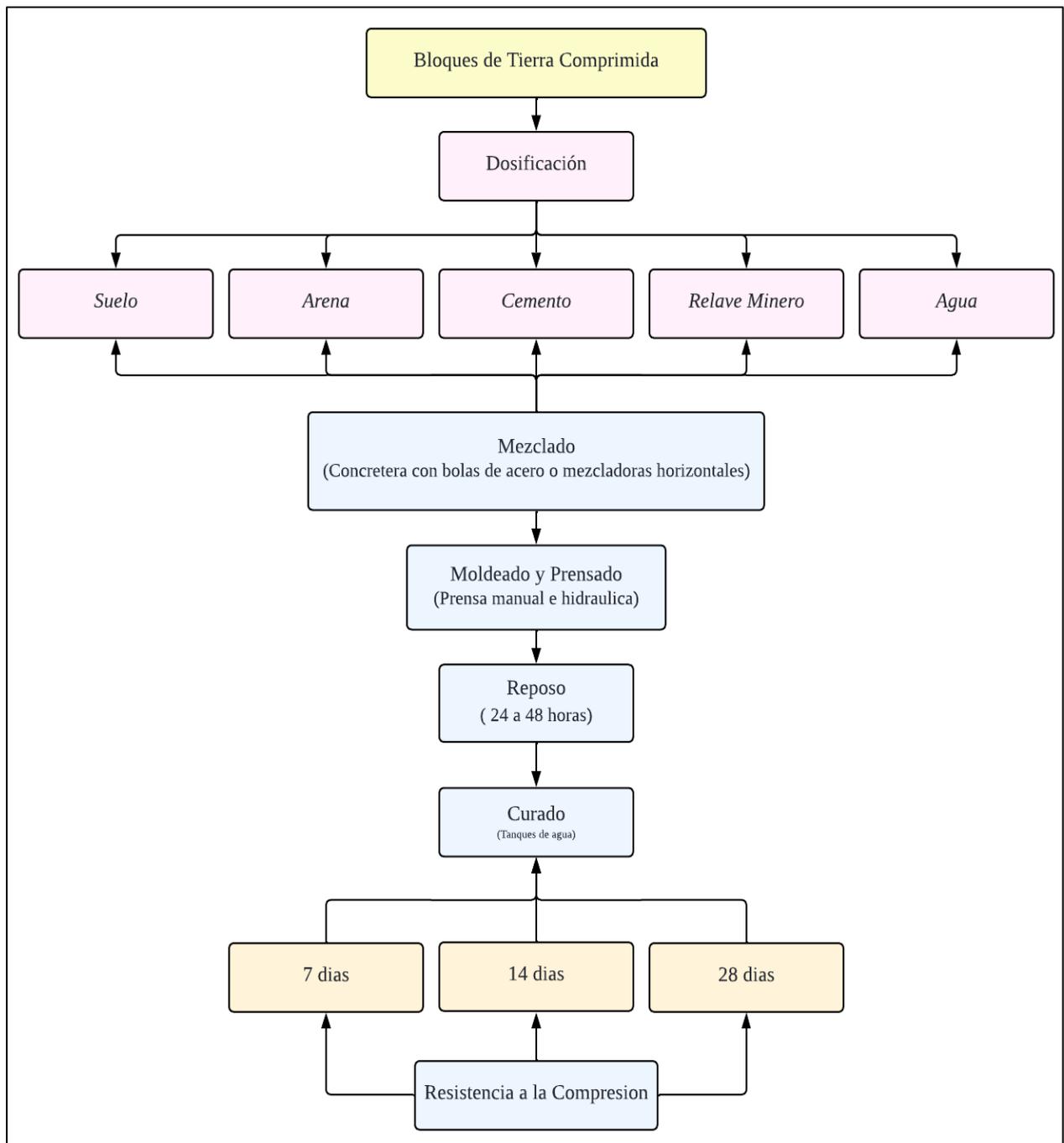
Después de su fabricación, los bloques de tierra comprimida fueron dejados en reposo al aire libre durante un período de 24 a 48 horas. Pasado este tiempo, fueron transportados a los tanques de agua de forma gradual y cuidadosa para prevenir la formación de burbujas de aire atrapadas dentro del bloque. El proceso de fraguado tiene una duración de 28 días, durante los cuales los bloques absorben humedad, lo que contribuye a mejorar su resistencia y durabilidad.

### 6.5. Fabricación de los Bloques de Tierra Comprimida

Se elaboraron un total de 100 bloques, (con una prensa manual con molde de 250x125x75 mm para bloques huecos), resumidos en 20 btc por 5 series. Distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 40.** Número de bloques de tierra fabricados.

<b>Número de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) fabricados</b>				
Serie	Reposo (días)	Fraguado (días)		
	3	7	14	28
A	5	5	5	5
B	5	5	5	5
C	5	5	5	5
D	5	5	5	5
E	5	5	5	5
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
		<b>100 btc</b>		



**Figura 8.** Diseño de bloques de Tierra Comprimida

*Nota:* Los bloques de tierra comprimida fueron fabricados en base a 5 diferentes dosificaciones.

### 6.6. Resistencia mecánica de los Bloques de Tierra Comprimida

A continuación, se detallan los resultados de los ensayos para determinar la Resistencia a la Compresión de los BTC:

**Tabla 41.** Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (3 días)

3 DÍAS EN SECO										
SUELO	SERIE	PROBETA	DIMENSION (mm)			Área	Peso	Carga máxima de rotura	Resistencia a la compresión (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
			l	a	h					
LADRILLOS DEL SUELO " JARDINES DE PUNZARA "	A	2 A	250	105	75	26250,0	2834,88	860	0,03	0,03
		3 A	250	105	75	26250,0	3121,75	890	0,03	
		5 A	250	105	75	26250,0	2942,14	950	0,04	
	B	3 B	250	105	75	26250,0	2829,05	690	0,03	0,03
		4 B	250	105	75	26250,0	2791,46	780	0,03	
		5 B	250	105	75	26250,0	3152,88	980	0,04	
	C	1 C	250	105	75	26250,0	3254,90	890	0,03	0,03
		2 C	250	105	75	26250,0	2964,92	680	0,03	
		4 C	250	105	75	26250,0	3241,95	750	0,03	
	D	1 D	250	105	75	26250,0	3211,32	860	0,03	0,03
		3 D	250	105	75	26250,0	2862,88	820	0,03	
		5 D	250	105	75	26250,0	2896,04	580	0,02	
	E	2 E	250	105	75	26250,0	3152,35	890	0,03	0,03
		4 E	250	105	75	26250,0	3143,85	680	0,03	
		5 E	250	105	75	26250,0	2974,02	790	0,03	

**Nota:** La **Tabla 41**, presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión evaluados a los 3 días de reposo, para los Bloques de tierra comprimida (BTC) con un contenido de 11% de cemento y 3% de cal. Se destaca que las probetas 5A y 5B muestran los valores más elevados de resistencia, registrando 0,04 MPa.

**Tabla 42.** Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (7 días)

7 DÍAS DE FAGRUADO										
SUELO	SERIE	PROBETA	DIMENSION (mm)			Área	Peso	Carga máxima de rotura	Resistencia a la compresión (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
			l	a	h					
LADRILLOS DEL SUELO " JARDINES DE PUNZARA "	A	2 A	250	105	75	26250,0	2836,52	35450	1,35	1,11
		3 A	250	105	75	26250,0	3123,04	26890	1,02	
		4 A	250	105	75	2625 0,0	2984,22	24780	0,94	
	B	1 B	250	105	75	26250,0	2906,14	32250	1,23	1,20
		4 B	250	105	75	26250,0	2792,82	30450	1,16	
		5 B	250	105	75	26250,0	3154,51	32050	1,22	
	C	2 C	250	105	75	26250,0	2966,51	31958	1,22	1,24
		3 C	250	105	75	26250,0	2766,35	32370	1,23	
		5 C	250	105	75	26250,0	3024,00	33193	1,26	
	D	1 D	250	105	75	26250,0	3213,75	33605	1,28	1,31
		3 D	250	105	75	26250,0	2864,31	34428	1,31	
		5 D	250	105	75	26250,0	2897,52	35251	1,34	
	E	2 E	250	105	75	26250,0	3154,14	36074	1,37	1,39
		3 E	250	105	75	26250,0	3024,22	36486	1,39	
		4 E	250	105	75	26250,0	3145,75	36897	1,41	

**Nota:** La **Tabla 42** presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión evaluados luego de 7 días de reposo, para los Bloques de tierra comprimida (BTC) con un contenido de 11% de cemento y 3% de cal. Se destaca que las probetas de la serie E, muestran los valores más elevados de resistencia, registrando 2E / 1.41 Mpa, 3 E /1.39 Mpa y 4 E / 1.37 Mpa

**Tabla 43.** Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (14 días)

14 DÍAS DE FAGRUADO										
SUELO	SERIE	PROBETA	DIMENSION (mm)			Área	Peso	Carga máxima de rotura	Resistencia a la compresión (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
			l	a	h					
LADRILLOS DEL SUELO " JARDINES DE PUNZARA "	A	2 A	250	105	75	26250,0	2837,42	62860	2,39	2,49
		3 A	250	105	75	26250,0	3124,52	64250	2,45	
		5 A	250	105	75	26250,0	2944,41	69120	2,63	
	B	1 B	250	105	75	26250,0	2906,92	78590	2,99	2,73
		4 B	250	105	75	26250,0	2793,95	69880	2,66	
		5 B	250	105	75	26250,0	3155,47	66580	2,54	
	C	1 C	250	105	75	26250,0	3257,58	71153	2,71	2,74
		2 C	250	105	75	26250,0	2967,42	71683	2,73	
		4 C	250	105	75	26250,0	3244,48	72743	2,77	
	D	1 D	250	105	75	26250,0	3214,57	73803	2,81	2,83
		2 D	250	105	75	26250,0	2967,52	74333	2,83	
		3 D	250	105	75	26250,0	2865,64	74862	2,85	
	E	1 E	250	105	75	26250,0	3253,43	76452	2,91	2,86
		3 E	250	105	75	26250,0	3025,51	70580	2,69	
		5 E	250	105	75	26250,0	2976,57	78572	2,99	

*Nota:* La

**Tabla 43** presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión evaluados luego de 14 días de fraguado, para los Bloques de tierra comprimida (BTC) con un contenido de 11% de cemento y 3% de cal. Se destaca que las probetas 1B y 5E muestran los valores más elevados de resistencia, registrando 2.99 MPa

**Tabla 44.** Resultados de la Resistencia a la Compresión de Btc (28 días)

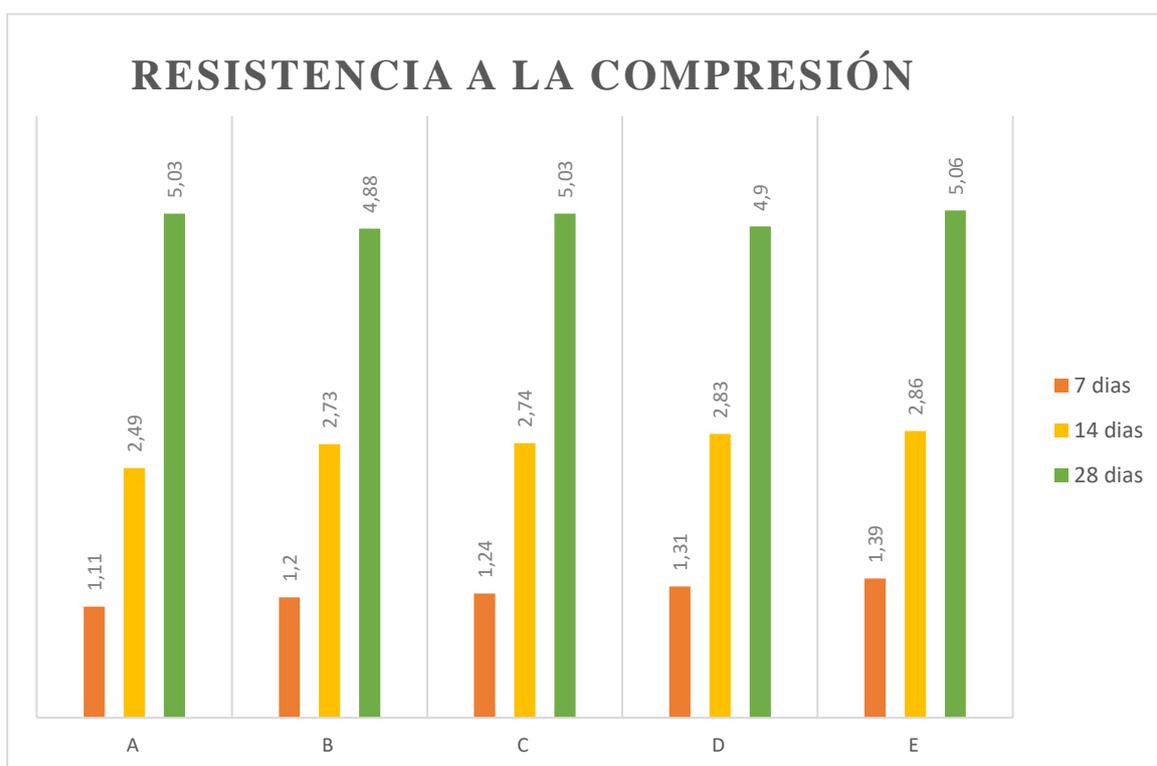
28 DÍAS DE FAGRUADO										
SUELO	SERIE	PROBETA	DIMENSION (mm)			Área	Peso	Carga máxima de rotura	Resistencia a la compresión (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
			l	a	h					
LADRILLOS DEL SUELO " JARDINES DE PUNZARA "	A	3 A	250	105	75	26250,0	3125	132560	5,05	5.03
		4 A	250	105	75	26250,0	2986	128690	4,90	
		5 A	250	105	75	26250,0	2945	135250	5,15	
	B	2 B	250	105	75	26250,0	2870	122740	4,75	4.88
		3 B	250	105	75	26250,0	2832	125590	4,78	
		5 B	250	105	75	26250,0	3156	124560	5,11	
	C	1 C	250	105	75	26250,0	3258	129110	4,92	5.03
		2 C	250	105	75	26250,0	2968	135860	5,18	
		4 C	250	105	75	26250,0	3245	131450	5,01	
	D	2 D	250	105	75	26250,0	3215	124690	5,05	4.90
		3 D	250	105	75	26250,0	2866	125640	4,79	
		4 D	250	105	75	26250,0	3986	127560	4,86	
	E	1 E	250	105	75	26250,0	3254	139850	5,33	5.06
		2 E	250	105	75	26250,0	3156	126530	4,82	
		5 E	250	105	75	26250,0	2977	131770	5,02	

**Nota:** La **Tabla 44** presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión evaluados luego de 28 días de fraguado, para los Bloques de tierra comprimida (BTC) con un contenido de 11% de cemento y 3% de cal. Se destaca que las probetas 2C y 1E muestran los valores más elevados de resistencia, registrando 5,18 Mpa y 5,33 Mpa respectivamente.

**Tabla 45.** Bloques de tierra comprimida estabilizados con 11% de cemento y 3% de Cal

N°	SERIE	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
1	A	1,11	2,49	5,03
2	B	1,20	2,73	4,88
3	C	1,24	2,74	5,03
4	D	1,31	2,83	4,90
5	E	1,39	2,86	5,06
<b>PROMEDIO</b>		<b>1,25</b>	<b>2,73</b>	<b>4,98</b>

**Figura 9.** Resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida estabilizados con 11% de cemento



**Nota:** La Figura 9 y Tabla 45 presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión evaluados a los 7, 14 y 28 días para los Bloques de tierra comprimida (BTC) con un contenido de 11% de cemento y 3% de cal. Se observa que el valor más alto de resistencia se registró a los 28 días, alcanzando un resultado de 5,06 Mpa

Los valores obtenidos de Resistencia a la Compresión Individual de los ensayos realizados con Bloques de Tierra Comprimida (BTC) se comparan con los estándares establecidos por la normativa (NTE INEN 297)

**Tabla 46.** Valores de RC comparados con la Norma INEN 297

SUELO	SERIE	PROBETA	Resistencia a la compresión (Mpa)	Cumple SI/NO Requisitos Norma INEN 297	Promedio
<b>LADRILLOS DEL SUELO " JARDINES DE PUNZARA "</b>	A	3 A	5,05	SI	SI
		4 A	4,90	NO	
		5 A	5,15	SI	
	B	2 B	4,75	NO	NO
		3 B	4,78	NO	
		5 B	5,11	SI	
	C	1 C	4,92	NO	SI
		2 C	5,18	SI	
		4 C	5,01	SI	
	D	2 D	5,05	SI	NO
		3 D	4,79	NO	
		4 D	4,86	NO	
	E	1 E	5,33	SI	SI
		2 E	4,82	NO	
		5 E	5,02	SI	

**Nota:** De acuerdo con la Tabla 46, al menos uno de las tres probetas cumplen con los requisitos de la norma INEN 297, que especifica un mínimo de 5 Mpa para muros portantes.

Es importante destacar que la serie A, C y D presentan dosificaciones cuyas probetas, cumplen con los criterios de resistencia establecida

## 7. Discusión

El diseño experimental del presente proyecto se fundamentó en el estudio de (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019), el cual establece una dosificación a partir de la combinación de tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%). Se fabricaron un total de 100 bloques de tierra comprimida, distribuidos en 5 series, en la que se sustituyeron los porcentajes de arena por relave minero. Las series fueron definidas de la siguiente manera; A (6.20 arena / 0 relave minero), B (4.65 arena / 1.55 relave minero), C (3.10 arena / 3.10 relave minero), D (1.55 arena / 4.65 relave minero) y E (0 arena / 6.20 relave minero).

La tierra o suelo estudiado fue obtenido de la ciudadela “Jardines de Punzara”. Esta elección se debió a su disponibilidad y proximidad al “Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja”, Los análisis de contenido de humedad, granulometría y límites de atterberg clasificaron al suelo como limoso según el sistema SUCS.

Se identificaron desafíos significativos en términos de estabilización, ya que durante su caracterización física se evidenció que no cumple con los rangos óptimos de textura, aunque la plasticidad y compresibilidad se encontraban dentro de los rangos de tolerancia. Esto quedó evidenciado, es por ello que no puede ser considerado como un suelo idóneo. Por lo tanto, se decidió utilizar cemento y cal como agentes estabilizadores.

Para suelos finos, se establece que el peso del cemento para la estabilización debe ser del 8 al 12%, se decidió en adoptar el 11%, en razón al ambiente y los periodos de lluvia prolongados en la ciudad de Loja durante los meses de enero y febrero, fecha en la que se elaboraron los btc. Esta determinación, se llevó a cabo incluso al conocer la sugerencia de algunos autores de no exceder el 10%.

Después de su fabricación, los bloques de tierra comprimida fueron dejados en reposo durante un período de 24 a 48 horas. Pasado este tiempo, fueron transportados a los tanques de agua de forma gradual y cuidadosa para prevenir la formación de burbujas de aire atrapadas dentro del bloque. El proceso de fraguado tiene una duración de 28 días, durante los cuales los bloques absorben humedad, lo que contribuye a mejorar su resistencia y durabilidad.

Se determinó la adopción del porcentaje óptimo de agua (22%) y densidad seca (1,53 gr/cc), por medio de la prueba de Proctor Estándar. Los resultados de esta prueba revelaron una evaluación del comportamiento de los bloques una vez estabilizados como "pobre". Esto resalta la importancia de ajustar los procesos de fabricación y la dosificación para garantizar la calidad y el rendimiento óptimo de los bloques estabilizados

El relave minero, proveniente de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”, fue sometido a ensayos para su caracterización; física, exhibiendo una granulometría muy fina con

propiedad similares a un suelo limoso (A-4) según AASHTO, con un promedio de absorción de 2.03%. y química, que definen un relave ligeramente alcalino, con conductividad y salinidad moderada en el agua. Estos datos son importantes para comprender y evaluar la idoneidad de la arena de relave para diversos fines industriales o ambientales.

El proceso de fabricación de los bloques se llevó a cabo en el “Área de ruidos” del laboratorio. Inicialmente, se utilizó una concretera eléctrica para mezclar los materiales, pero esto presentó inconvenientes al encapsular el material al incorporar el agua sin mezclarlo completamente, el problema se solucionó al emplear mezcladoras horizontales o bolas de acero en las concreteras para triturar el material durante el giro.

Se llevó a cabo el moldeado y prensado de los BTC utilizando dos máquinas de prensado distintas: una manual y otra hidráulica. Los resultados obtenidos fueron significativamente mejores con la prensa hidráulica, ya que permite un control preciso de la presión aplicada a todas las probetas, Así mismo es crucial controlar el porcentaje adecuado de contenido de agua en la mezcla, ya que un exceso de agua puede provocar que la mezcla se pegue en la máquina de prensado, dificultando la elaboración correcta de los btc.

Los bloques de tierra comprimida se curaron en tanques de agua después de un reposo de 24 a 48 horas, evaluando su comportamiento mecánico a los 7, 14 y 28 días con el objetivo de mejorar su resistencia. Para realizar el muestro y selección de las probetas se basó en las normas (NTE INEN 292), seleccionando de forma aleatoria 3 de los 5 btc para luego obtener un valor promedio y conocer si la dosificación cumple.

Los bloques presentaron buenas características mecánicas, con una resistencia a la compresión que alcanzó valores de 5.18 y 5.11 MPa, cumpliendo así con la norma (NTE INEN 297), que establece una resistencia mínima de 5 MPa para muros portantes.

## 8. Conclusiones

Teniendo en consideración los resultados de la investigación actual y en el análisis detallado de dichos resultados para abordar de manera apropiada cada uno de los objetivos establecidos, podemos concluir lo siguiente:

- El ensayo granulométrico revela la presencia de material muy fino con propiedades similares a un suelo limoso según el sistema ASSHTO, con un promedio de absorción del 2.03%.
- La caracterización química del relave minero indica que es un material ligeramente alcalino, con moderada conductividad y salinidad en el agua.
- La dosificación del proyecto experimental se fundamentó en la composición inicial de los bloques de tierra comprimida, que consistió en un 82.75% de tierra, un 6.20% de arena y un 11.03% de cemento.
- La elección del porcentaje de aglomerante se basó en la clasificación del suelo, optándose por un 11% de cemento, complementado con un 3% de cal.
- La prueba de Proctor estándar determinó un óptimo porcentaje de agua del 22% y una densidad máxima de 1.53 gr/cc
- Se fabricaron 100 bloques, agrupados en 20 BTC distribuidos en 5 series, donde se reemplazó el porcentaje de arena por relave minero en valores del 1.55%, 3.10%, 4.65% y 6.20%.
- Todos los bloques de tierra comprimida (BTC) fabricados, evaluados después de 28 días de fraguado, cumplen con la resistencia mínima establecida en la normativa NTE INEN 294.
- Según lo estipulado por la norma NTE INEN 297, se observaron valores de resistencia superiores para el bloque de suelo estabilizado, alcanzando 5.33 MPa y 5.15 MPa en las series 5A y 1E, respectivamente

## 9. Recomendaciones

Con base a las conclusiones pertinentes obtenidas en el curso de este estudio, con el objetivo de perfeccionar el proceso evaluativo y continuar la investigación en la temática propuesta, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Recomiendo llevar a cabo un estudio detallado de varios tipos de suelo para encontrar aquel que cumpla con los rangos óptimos en términos de textura, plasticidad y compresibilidad. Esto es fundamental, ya que determinará el porcentaje adecuado del aglomerante a utilizar en la mezcla para la fabricación de btc y contribuirá a asegurar la rentabilidad del proyecto.
- Es crucial tener en cuenta el porcentaje adecuado de contenido de agua en la mezcla mediante la prueba de “proctor estándar”, ya que un exceso de agua puede provocar que la mezcla se pegue en la máquina de prensado de los bloques, dificultando la elaboración correcta de los bloques de tierra comprimida.
- Analizar el rendimiento de los bloques de tierra comprimida mediante la utilización de diferentes proporciones de cal como agentes estabilizadores. Es importante destacar que en este proyecto de investigación se empleó un porcentaje del 3% de cal en relación con el cemento.
- Recomiendo la realización de estudios de durabilidad a largo plazo de los bloques de tierra comprimida fabricados, considerando factores como resistencia estructural, degradación y estabilidad en diferentes condiciones ambientales.
- Se sugiere colaborar con entidades regulatorias y normativas para contribuir a la actualización de normas relacionadas con el uso de relaves mineros en la fabricación de materiales de construcción, asegurando su integración de manera segura y efectiva con el objetivo de aumentar la adopción de esta innovadora técnica.
- Recomiendo un monitoreo continuo del impacto ambiental de la utilización de relaves mineros en la producción de bloques de tierra comprimida, prestando especial atención a la calidad del agua y la estabilidad del suelo.
- Se sugiere llevar a cabo un análisis detallado de costos y beneficios para evaluar la viabilidad económica de la implementación a gran escala de bloques de tierra comprimida con relaves mineros en proyectos de construcción

## 10. Bibliografía

- AASHTO T-180. (s.f.). *Ensayo de Compactacion Proctor*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/423567456/Ensayo-de-compactacion-Proctor-Norma-AASHTO-T-180>
- Arteaga, K., Median, O., & Gutierrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Facultad de Ingeniería*, 60.
- Astm D-422. (s.f.). *Analisis granulometrico por Tamizado*.
- Bailón, E., Espinosa, R., & Acevedo, J. (2019). *Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social*. Loja.
- Cementos Torices. (2022). Obtenido de Ladrillo ecológico Identifica qué tipos hay y conoce sus ventajas: <https://cementstorices.com/blog/construccion/ladrillo-ecologico/>
- D4318-17, A. (s.f.). *Metodo de Ensayo Estandar para Limite Liquido, Limite Plastico e Indice de Plasticidad de suelos*.
- En Estado Crudo. (12 de 09 de 2022). Obtenido de Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas: <https://www.enestadocrudo.com/ladrillos-ecologicos/>
- ESTSUELCOM CIA. LTDA. (s.f.). *Tablas para ensayos de laboratorio*. Loja.
- GOV.CO. (2018). *Colombia Potencia de la Vida*. Obtenido de Transformacion Minera : <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/transformación-minera/>
- Herbet, J. H. (2017). *Introduccion a la mineria*. Madrid.
- Holcim Ecuador S.A. (s.f.). *Datos Tecnicos del cemento Holcim Fuerte tipo GU*. Guayaquil.
- Isan, A. (30 de 05 de 2018). Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>
- META2020 arquitectos. (2023). *CONSTRUCCION CON TIERRA*. Obtenido de <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>
- Minería, S. N. (2023). *SERNAGEOMINS*. Obtenido de SERNAGEOMIN: <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/#:~:text=Es%20aquel%20dep%C3%B3sito%20donde%20el,y%20en%20su%20talud%20interno.>
- Ministerio del Ambiente. (04 de 11 de 2015). *Redorma texto unificado legislacion secundaria, medio ambiente, Libro VI Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2*. Obtenido de LEXISFINDER: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Morocho, P. 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*. Loja.
- NEC 11. (s.f.). *Mamposteria Estructural*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.

- Noren, A. (2020). Los depósitos de relaves en Ecuador y sus riesgos socio'ambientales. *COLECTIVO DE GEOGRAFÍA CRÍTICA DE ECUADOR*, 1.
- Norma AASHTO M145. (s.f.). *Clasificación de Suelos*.
- Norma D-3282-93. (s.f.). *Practica Estandar para la Clasificación de Suelos*.
- NTE INEN 292, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana. *Ladrillos Ceramicos. Muestreo* . Quito.
- NTE INEN 294, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana . *Ladrillos Ceramicos. Determinacion de la Resistencia de Compresion* . Quito .
- NTE INEN 297, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana. *Ladrillos Requisitos*. Quito.
- NTE INEN 696:2011, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana. *Aridos. Analisis Granulometrico en los Aridos Fino y Grueso*. Quito.
- NTE INEN 856:2010, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana. *Aridos. Determinacion de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorcion del Arino fino* . Quito.
- NTE INEN 862:2011, I. E. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana. *Aridos para Hormigon. Determinacion del Contenido total de Humedad*. Quito.
- PRIMICIAS. (29 de 10 de 2023). 57 plantas de material minero funcionan sin permiso ambiental. *Primicias, El periodismo Comprometido* , pág. 3.
- Rodolfo Rotondao & María Rosa Mandrin. (s.f.). *Bloques de tierra comprimida y tapia: dos técnicas con capacidad portante*. Santa Fe .
- Sanchez, V. Y. (2019). *Estudio del Relave MInero de la Planta de Beneficio Santa Lucia Codigo 191038 del sector La Maravilla de la parroquia Pucará, Cantón Pucará, provincia del Azuay, con fines de utilizacion en morteros de pega de unidades de mampostería*. Loja.
- Sarmiento, J. D. (2021). *Ensayo de Compresion Simple*. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-catolica-de-cuenca/geotecnia/ensayo-de-compresion-simple/11542702>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2020). Depósito de Realeves. Chile. Obtenido de [https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/#:~:text=1\)%20¿Qué%20es%20el%20relave,del%20yacimiento%20que%20se%20explota](https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/#:~:text=1)%20¿Qué%20es%20el%20relave,del%20yacimiento%20que%20se%20explota).
- Torri, S. (enero de 2006). *Diagnóstico de la calidad de los suelos*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/283492349\\_Diagnostico\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_suelos\\_y\\_su\\_fertilidad\\_para\\_el\\_pecan](https://www.researchgate.net/publication/283492349_Diagnostico_de_la_calidad_de_los_suelos_y_su_fertilidad_para_el_pecan)

## 11. Anexos

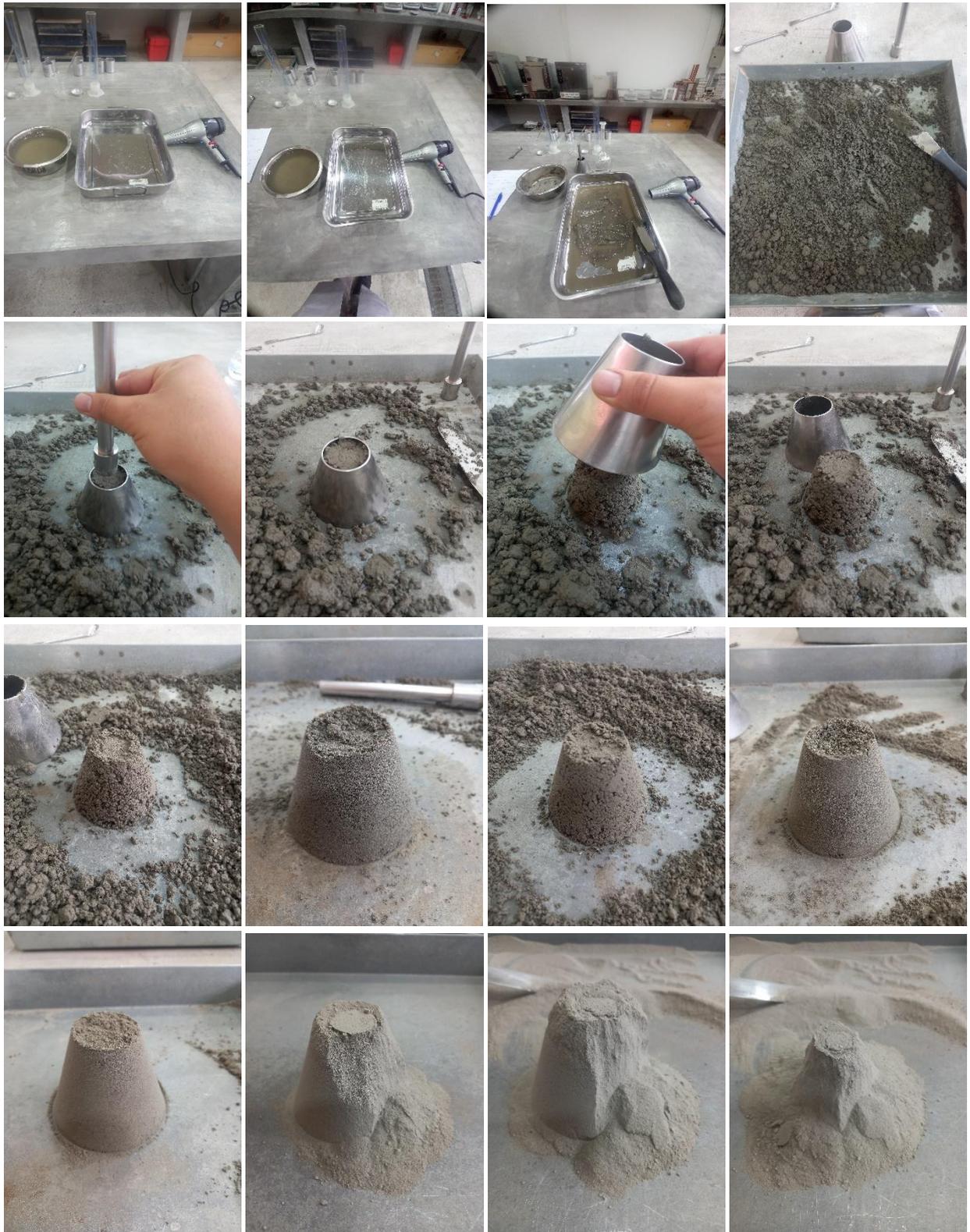
### Anexo 1. Muestreo de Relave Minero y Suelo



**Anexo 2. Ensayo de contenido de humedad**



**Anexo 3. Ensayo de Densidad y Absorción (parte 1)**



#### Anexo 4. Ensayo de Densidad y Absorción (parte 2)



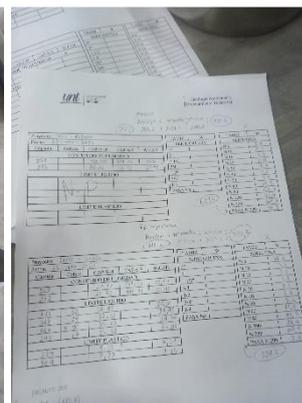
Anexo 5. Granulometría por el método del hidrómetro



**Anexo 6. Ensayo Granulométrico por tamizado**



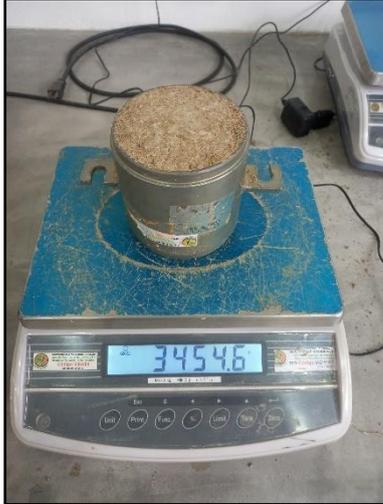
**Anexo 7. Límites de Atterberg – Limite líquido y plástico**



**Anexo 8.** Análisis de Conductividad Eléctrica, salinidad y pH de la arena de relave



**Anexo 9. Ensayo de compactación del suelo – Proctor Estándar.**



Anexo 10. Chancado y tamizado del suelo



Anexo 11. Proceso de fabricación de BTC



Anexo 12. Ensayo de compresion simple



**Anexo 13.** Hoja para la recopilación de datos (Relaves Mineros)

<b>Proyecto: “Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral “Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro”, como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida”</b>				
Fecha: 23 – noviembre - 2023				
Cápsula	Golpes	CAP-S-H	CAP-S-S	W.CAP.
CONTENIDO DE HUMEDAD				
252		138.70	127.75	30.30
243		146.66	134.93	27.93
LIMITE LIQUIDO				
	<b>NO PLASTICO</b>			
LIMITE PLASTICO				

TAMIZ	W
SERIE FINA	
N 8	2.9
N 10	0.1
N 16	1.0
N 20	0.6
N 30	0.7
N 40	1.5
N 50	3.4
N 60	14.3
N 80	125.7
N 100	95.4
N 200	309.4
PASA N 200	

**Anexo 14.** Ensayo de Contenido de Humedad (Relaves Mineros)



**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

ASTM D2216 - AASHTO T 265

PROYECTO	: "Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral "Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro", como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida"				
OBRA	: TESIS				
UBICACION	: EL PACHE, CANTON PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO				
OPERADOR	: O.V	MUESTRA	: PISCINA-RELAVERA 1		
FECHA	: NOVIEMBRE 2023				
	W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
CONTENIDO DE AGUA	138,70	127,75	30,30	11,24	10,99
	146,66	134,93	27,93	10,96	
	143,69	132,96	27,56	10,18	
	142,36	130,45	28,96	11,74	
	138,99	128,56	29,41	10,52	
	141,52	130,01	28,22	11,31	

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

**Anexo 15. Límites de Atterberg (Relaves Mineros)**

	<b>ESTSUELCON CIA. LTDA.</b> ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA
<b>LÍMITES DE ATTERBEG</b> ASTM D4318 - AASHTO T 89 / 90	
PROYECTO	: "Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral "Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro", como agregado fino para la fabricación de
OBRA	: TESIS
UBICACION	: EL PACHE, CANTON PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO
OPERADOR	: O.V MUESTRA : PISCINA-RELAVERA 1
FECHA	: NOVIEMBRE 2023 PROFUNDIDAD 0,00 m
GOLPES W HM (gr) W SECO (gr) W CAPS (gr) w % RESULTADO%	
LIM. LIQUIDO	LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA
LIMITE PLASTICO	LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA
LL =	0,00 %
LP =	0,00 %
IP =	0,00 %

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

## Anexo 16. Análisis Granulométrico (Relaves Mineros)

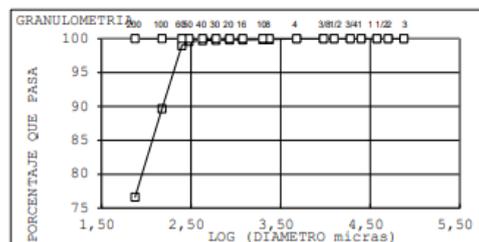


**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

### GRANULOMETRÍA

ASTM D422

PROYECTO	"Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral "Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro", como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida"					
OBRA	: TESIS					
UBICACIÓN	: EL PACHE, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO					
OPERADOR	: O.V			MUESTRA : PISCINA-		
FECHA	: NOVIEMBRE 2023			PROFUNDIDAD: 0,00 m		
H/S	: H					
C.H.	: 10,99	%	LIMITE LIQUIDO:	LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA		
PESO IN HUMEDO:	2.634,40	gr	LIMITE PLASTICO:	LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA		
PESO SECO:	2.373,54	gr				
MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
3	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
PASA # 4	2.373,54	2.373,54	100,00			
SUMAN	2.374	2.374	100,00			
PESO HUM=	2373,54	W% =	0,00	P.SECO=	2373,54	
# 8	2,90	2,90	0,12	99,88	99,88	0,12
# 10	0,10	3,00	0,13	99,87	99,87	0,13
# 16	1,00	4,00	0,17	99,83	99,83	0,17
# 20	0,60	4,60	0,19	99,81	99,81	0,19
# 30	0,70	5,30	0,22	99,78	99,78	0,22
# 40	1,50	6,80	0,29	99,71	99,71	0,29
# 50	3,40	10,20	0,43	99,57	99,57	0,43
# 60	14,30	24,50	1,03	98,97	98,97	1,03
# 100	221,10	245,60	10,35	89,65	89,65	10,35
# 200	309,40	555,00	23,38	76,62	76,62	23,38
PASA #200	1818,54	1818,54	76,62			
SUMAN	2373,54	2373,54	100,00			



D60: 29,40 µm  
D50: 16,74 µm  
D30: 5,42 µm  
D10: 1,76 µm

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCON CIA. LTDA.)

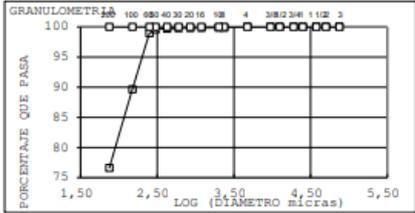
**Anexo 17. Clasificación de la arena del (Relaves Mineros)**



**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN**  
ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral "Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro", como agregado fino para la fabricación de						
OBRA : TESIS						
UBICACIÓN : EL PACHE, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : PISCINA-RELAVERA 1			
FECHA : NOVIEMBRE 2023			PROFUNDIDAD: 0,00 m			
	GOLFES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		138,70	127,75	30,30	11,24	10,99
		141,52	130,01	28,22	11,31	
2.- LIM. LIQUIDO						
LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA						
3.- LIMITE PLASTICO						
LA MUESTRA NO ES PLÁSTICA						
4.- GRANULOMETRIA				5.- CLASIFICACION.-		
PESO INICIAL DE CALCULO:		2634,40 gr		GRAVA=	0,00 %	
TAMIZ		PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	ARENA=	23,38 %
1 1/2"	0,00	0,00	100	FINOS=	76,62 %	
1"	0,00	0,00	100	LL =	0,00 %	
3/4"	0,00	0,00	100	LP =	0,00 %	
1/2"	0,00	0,00	100	IP =	0,00 %	
3/8"	0,00	0,00	100	cu	16,74	
No. 4	0,00	0,00	100	cc	0,57	
No. 10	0,10	0,13	100	CLASIFICACION:		
No. 40	2,10	0,29	100	SUCS = ML		
No. 200	544,80	23,38	77	Limo con arena		
COLOR : CAFÉ				AASHTO= A-4 1G 0		
				Suelos limosos		
				Regular a Pobre		



Ing. Ovidio Castillo J.  
LABORATORIO

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

**Anexo 18.** Ensayo de Densidad y Absorción (Relaves Mineros)

Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Título de trabajo de Integración Curricular o de Titulación																																																																																																																																				
		Ensayo de Densidad y Absorción																																																																																																																																		
Elaborado:	Bryan Michael Delgado Requena																																																																																																																																			
Fecha:	30-nov-23																																																																																																																																			
Proyecto	Uso de relaves mineros para la elaboracion de BTC																																																																																																																																			
<p>A masa de la muestra seca al horno, g                      B masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g                      C masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g                      S masa de muestra saturada superficialmente seca</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th style="text-align: center;">SH</th> <th style="text-align: center;">SSS</th> <th style="text-align: center;">GEA</th> <th style="text-align: center;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td style="text-align: right;">489,99</td> <td style="text-align: center;">2,68</td> <td style="text-align: center;">2,73</td> <td style="text-align: center;">2,83</td> <td style="text-align: center;">2,04</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: right;">682,16</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: right;">999,07</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td style="text-align: right;">500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> </td> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th style="text-align: center;">SH</th> <th style="text-align: center;">SSS</th> <th style="text-align: center;">GEA</th> <th style="text-align: center;">%</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td style="text-align: right;">489,89</td> <td style="text-align: center;">2,69</td> <td style="text-align: center;">2,74</td> <td style="text-align: center;">2,85</td> <td style="text-align: center;">2,06</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: right;">682,26</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: right;">1000,07</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td style="text-align: right;">500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> </td> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th style="text-align: center;">SH</th> <th style="text-align: center;">SSS</th> <th style="text-align: center;">GEA</th> <th style="text-align: center;">%</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td style="text-align: right;">490,19</td> <td style="text-align: center;">2,64</td> <td style="text-align: center;">2,69</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> <td style="text-align: center;">2,00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: right;">684,59</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: right;">998,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td style="text-align: right;">500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">No.</th> <th style="text-align: center;">Densidad relativa (SH)</th> <th style="text-align: center;">Densidad (SSS)</th> <th style="text-align: center;">Densidad (GEA)</th> <th style="text-align: center;">Absorción (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><b>1</b></td> <td style="text-align: center;">2,68</td> <td style="text-align: center;">2,73</td> <td style="text-align: center;">2,83</td> <td style="text-align: center;">2,04</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>2</b></td> <td style="text-align: center;">2,69</td> <td style="text-align: center;">2,74</td> <td style="text-align: center;">2,85</td> <td style="text-align: center;">2,06</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>3</b></td> <td style="text-align: center;">2,64</td> <td style="text-align: center;">2,69</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TOTAL</b></td> <td style="text-align: center;"><b>2,67</b></td> <td style="text-align: center;"><b>2,72</b></td> <td style="text-align: center;"><b>2,82</b></td> <td style="text-align: center;"><b>2,03</b></td> </tr> </tbody> </table>								SH	SSS	GEA	%	A	489,99	2,68	2,73	2,83	2,04	B	682,16					C	999,07					S	500													SH	SSS	GEA	%	A	489,89	2,69	2,74	2,85	2,06	B	682,26					C	1000,07					S	500													SH	SSS	GEA	%	A	490,19	2,64	2,69	2,79	2,00	B	684,59					C	998,79					S	500					No.	Densidad relativa (SH)	Densidad (SSS)	Densidad (GEA)	Absorción (%)	<b>1</b>	2,68	2,73	2,83	2,04	<b>2</b>	2,69	2,74	2,85	2,06	<b>3</b>	2,64	2,69	2,79	2	<b>TOTAL</b>	<b>2,67</b>	<b>2,72</b>	<b>2,82</b>	<b>2,03</b>
		SH	SSS	GEA	%																																																																																																																															
A	489,99	2,68	2,73	2,83	2,04																																																																																																																															
B	682,16																																																																																																																																			
C	999,07																																																																																																																																			
S	500																																																																																																																																			
		SH	SSS	GEA	%																																																																																																																															
A	489,89	2,69	2,74	2,85	2,06																																																																																																																															
B	682,26																																																																																																																																			
C	1000,07																																																																																																																																			
S	500																																																																																																																																			
		SH	SSS	GEA	%																																																																																																																															
A	490,19	2,64	2,69	2,79	2,00																																																																																																																															
B	684,59																																																																																																																																			
C	998,79																																																																																																																																			
S	500																																																																																																																																			
No.	Densidad relativa (SH)	Densidad (SSS)	Densidad (GEA)	Absorción (%)																																																																																																																																
<b>1</b>	2,68	2,73	2,83	2,04																																																																																																																																
<b>2</b>	2,69	2,74	2,85	2,06																																																																																																																																
<b>3</b>	2,64	2,69	2,79	2																																																																																																																																
<b>TOTAL</b>	<b>2,67</b>	<b>2,72</b>	<b>2,82</b>	<b>2,03</b>																																																																																																																																

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

**Anexo 19.** Ensayo de Conductividad Eléctrica, pH y Salinidad

Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables <i>Título de trabajo de Integración Curricular o de Titulación</i>																																									
		Ensayo de Conductividad Eléctrica, pH y Salinidad																																							
Autor:	Bryan Michael Delgado Requena																																								
Fecha:	28-nov-23																																								
Proyecto	Uso de relaves mineros para la elaboración de BTC																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No. Muestra</th> <th>W. Muestra (g)</th> <th>TDS</th> <th>pH</th> <th>Conductivida d (µs)</th> <th>Salinidad (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>50</td> <td>423</td> <td>7.39</td> <td>874</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>440</td> <td>7.39</td> <td>907</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>50</td> <td>429</td> <td>7.39</td> <td>895</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td></td> <td><b>431</b></td> <td><b>7.39</b></td> <td><b>892</b></td> <td><b>0.4</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td><b>Baja Mineralización</b></td> <td><b>Ligeramente Alcalino</b></td> <td><b>Moderada</b></td> <td><b>Moderada</b></td> </tr> </tbody> </table>						No. Muestra	W. Muestra (g)	TDS	pH	Conductivida d (µs)	Salinidad (%)	1	50	423	7.39	874	0.4	2	50	440	7.39	907	0.4	3	50	429	7.39	895	0.4	<b>TOTAL</b>		<b>431</b>	<b>7.39</b>	<b>892</b>	<b>0.4</b>			<b>Baja Mineralización</b>	<b>Ligeramente Alcalino</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>
No. Muestra	W. Muestra (g)	TDS	pH	Conductivida d (µs)	Salinidad (%)																																				
1	50	423	7.39	874	0.4																																				
2	50	440	7.39	907	0.4																																				
3	50	429	7.39	895	0.4																																				
<b>TOTAL</b>		<b>431</b>	<b>7.39</b>	<b>892</b>	<b>0.4</b>																																				
		<b>Baja Mineralización</b>	<b>Ligeramente Alcalino</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>																																				

Anexo 20. Hoja para la recopilación de datos (Suelo)

<b>Proyecto: “Uso de relaves mineros provenientes de la planta de beneficio mineral “Reina del Cisne II, código 390015, cantón Portovelo, provincia de el oro”, como agregado fino para la fabricación de bloques de tierra comprimida”</b>				
Fecha: 23 – noviembre - 2023				
Cápsula	Golpes	CAP-S-H	CAP-S-S	W.CAP.
CONTENIDO DE HUMEDAD				
222		124.83	111.11	23.41
223		166.73	149.11	30.93
LIMITE LIQUIDO				
265	35	38.45	35.84	21.12
268	29	37.00	34.51	24.83
266	23	44.76	39.70	33.82
290	17	35.88	32.43	45.51
LIMITE PLASTICO				
234		9.18	8.75	7.21
264		9.77	9.20	7.16

TAMIZ	W
SERIE FINA	
N 8	14.5
N 10	0.8
N 16	3.0
N 20	1.8
N 30	2.5
N 40	3.8
N 50	8.6
N 60	11.8
N 80	42.7
N 100	24.4
N 200	107.9
PASA N 200	

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

## Anexo 21. Ensayo de Contenido de Humedad (Suelo)



### ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D2216 - AASHTO T 265

PROYECTO	: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO "MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (SEGUNDA ETAPA DEL PLAN EMERGENTE PARA LA CABECERA CANTONAL DE CATMAYO)				
OBRA	: TESIS				
UBICACION	: JARDINES DE PUNZARA, CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA				
OPERADOR	: O.V	MUESTRA	: POZO 1		
FECHA	: FEBRERO 2018	PROFUNDIDAD	: 1,00 m		
	W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
CONTENIDO DE AGUA	124,83	111,11	23,41	15,64	15,26
	166,70	148,80	30,93	15,19	
	126,82	113,56	25,69	15,09	
	135,69	120,98	26,00	15,49	
	145,89	130,00	25,69	15,23	
	128,74	115,00	23,00	14,93	

Ing. Ovidio Castillo J.  
LABORATORIO

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

**Anexo 22. Límites de Atterberg (Suelo)**

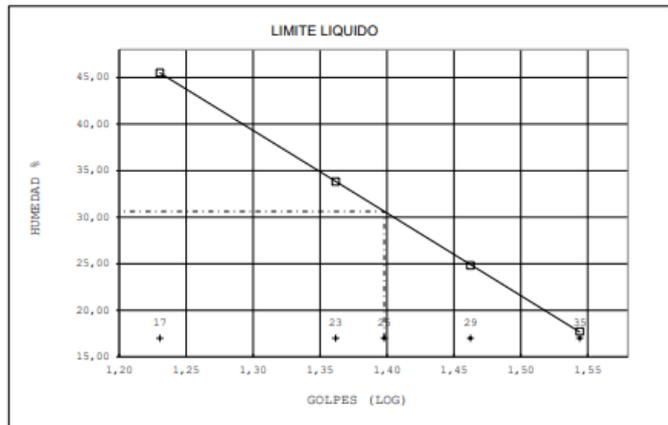


**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**LÍMITES DE ATTERBEG**  
ASTM D4318 - AASHTO T 89 / 90

PROYECTO	: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO "MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (SEGUNDA ETAPA DEL PLAN EMERGENTE PARA LA CABECERA CANTONAL DE CATMAYO)				
OBRA	: TESIS				
UBICACIÓN	: JARDINES DE PUNZARA, CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA				
OPERADOR	: O.V	MUESTRA			: POZO 1
FECHA	: FEBRERO 2018	PROFUNDIDAD			1,00 m
	GOLPES	W HM (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	W % RESULTADO%
LIM. LIQUIDO	35	38,45	35,84	21,12	17,73
	29	37,00	34,51	24,48	24,83
	23	44,76	39,70	24,74	33,82
	17	35,88	32,43	24,85	45,51
LIMITE PLASTICO	9,18	8,75	7,21	27,92	27,93
	9,77	9,20	7,16	27,94	

LL =	31,00	%
LP =	28,00	%
IP =	3,00	%



Ing. Ovidio Castillo J.  
LABORATORIO

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

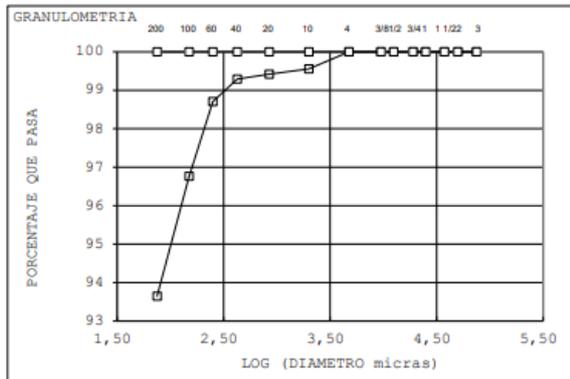
**Anexo 23. Análisis Granulométrico (Suelo)**



**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**GRANULOMETRÍA**  
ASTM D422

PROYECTO : ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO "MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (SEGUNDA ETAPA DEL PLAN EMERGENTE PARA LA CABECERA CANTONAL DE CATMAYO)						
OBRA : TESIS						
UBICACIÓN : JARDINES DE PUNZARA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA						
OPERADOR : O.V MUESTRA POZO 1						
FECHA : FEBRERO 2018 PROFUNDIDAD: 1,00 m						
H/S : H						
C.H. : 15,26 % LIMITE LIQUIDO: 31,00						
PESO IN HUMEDO: 3.987,40 gr LIMITE PLASTICO 28,00						
PESO SECO: 3.459,40 gr						
MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
3	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
1/2	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
3/8	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
# 4	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00
PASA # 4	3.459,40	3.459,40	100,00			
SUMAN	3.459	3.459	100,00			
PESO HUM=	3459,40	w% =	0,00	P.SECC=	3459,40	
# 10	15,30	15,30	0,44	99,56	99,56	0,44
# 20	4,80	20,10	0,58	99,42	99,42	0,58
# 40	4,30	24,40	0,71	99,29	99,29	0,71
# 60	20,40	44,80	1,30	98,70	98,70	1,30
# 100	67,10	111,90	3,23	96,77	96,77	3,23
# 200	107,90	219,80	6,35	93,65	93,65	6,35
PASA #200	2,80	2,80	0,08			
SUMAN	222,60	222,60	6,43			



D60: 15,90 µm  
D50: 10,03 µm  
D30: 3,99 µm  
D10: 1,59 µm

Ing. Ovidio Castillo J.  
LABORATORIO

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCON CIA. LTDA.)

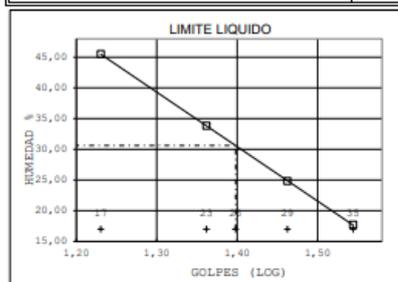
**Anexo 24. Clasificación del Suelo**



**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN**  
ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO "MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (SEGUNDA ETAPA DEL PLAN EMERGENTE PARA LA CABECERA CANTONAL DE CATMAYO)						
OBRA : TESIS						
UBICACIÓN : JARDINES DE PUNZARA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : POZO 1			
FECHA : FEBRERO 2018			PROFUNDIDAD : 1,00 m			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		124,83 166,70	111,11 148,80	23,41 30,93	15,64 15,19	15,26
2.- LIM. LIQUIDO	35 29 23 17	38,45 37,00 44,76 35,88	35,84 34,51 39,70 32,43	21,12 24,48 24,74 24,85	17,73 24,83 33,82 45,51	30,63
3.- LIMITE PLASTICO		9,18 9,77	8,75 9,20	7,21 7,16	27,92 27,94	27,93
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:		3987 gr		GRAVA= 0,00 %		
				ARENA= 6,35 %		
				FINOS= 93,65 %		
				LL = 31,00 %		
				LP = 28,00 %		
				IP = 3,00 %		
				cu 10,03		
				cc 0,63		
				CLASIFICACION:		
				SUCS = ML		
				Limo		
				AASHTO= A-4 IG 0		
				Suelos limosos		
				Regular a Pobre		
TAMIZ	ESO R (gr	% R.A.	% PASA			
1 1/2"	0,00	0,00	100			
1"	0,00	0,00	100			
3/4"	0,00	0,00	100			
1/2"	0,00	0,00	100			
3/8"	0,00	0,00	100			
No. 4	0,00	0,00	100			
No. 10	15,30	0,44	100			
No. 40	9,10	0,71	99			
No. 200	195,40	6,35	94			
COLOR : CAFÉ						



Ing. Ovidio Castillo J.  
LABORATORIO

Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

**Nota:** Ficha obtenida de (ESTSUELCOM CIA. LTDA.)

**Anexo 25.** Ensayo de Compactación (Proctor Estándar) (Suelo)

Universidad Nacional de Loja						
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables						
Título de trabajo de Integración Curricular o de Titulación						
		Ensayo de Compactación (Proctor Estándar)				
Elaborado:	Bryan Michael Delgado Requena					
Fecha:	29-nov-23					
Proyecto	Uso de relaves mineros para la elaboración de BTC					
Ensayo	N°	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO						
Peso de muestra húmeda + molde	Grs.	3352,4	3454,6	3521,3	3516,8	3510,1
Peso del molde	Grs.	1761,5	1761,5	1761,5	1761,5	1761,5
Peso de la muestra húmeda	Grs.	1590,9	1693,1	1759,8	1755,3	1680
Volúmen del molde	c.c.	950,33	950,33	950,33	950,33	950,33
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1,674	1,782	1,852	1,847	1,768
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°	265	256	249	253	253
Peso muestra húmeda + tara	Grs.	136,34	119,17	100,67	95,79	91,85
Peso muestra seca + tara	Grs.	123,73	105,03	87,69	85,59	85,00
Peso del agua	Grs.	12,61	14,14	12,98	10,20	6,85
Peso de la tara	Grs.	29,52	28,78	28,42	30,91	28
Peso de la muestra seca	Grs.	94,21	76,25	59,27	54,68	57,00
Contenido de humedad	%	13,4	18,5	21,9	18,7	12,0
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad seca		1,48	1,50	1,52	1,56	1,58

**Relacion Humedad - Densidad**

Densidad máxima	1,58 gr/cc
Humedad óptima	22%

**Anexo 26.** Certificación de traducción del resumen

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Yo, Julissa Maribel Iñiguez Añazco, con documento de identidad Nro. **0750531527**,  
Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés con N° de registro 1007-2022-2463742

**CERTIFICO:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma Español al idioma Inglés correspondiente a un resumen de Trabajo de Titulación, el cual se realizó en base a los documentos originales entregados por su autor, el Sr. **Bryan Michael Delgado Requena**, con cédula de identidad Nro. **1104902273**, con el tema denominado "*Uso de relaves mineros provenientes de la planta de Beneficio Mineral "Reina del Cisne II, código 390015", cantón Portovelo, Provincia de El Oro, como agregado fino para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida*", traducción que servirá para fines personales y académicos de uso del cliente.

Lo certifico en honor a la verdad y a su vez autorizo al interesado a hacer uso del presente para los fines que considere pertinentes.



Julissa Maribel Iñiguez Añazco

C.I: 0750531527