



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS BASADOS EN  
MATERIALES COMPUESTOS SIN UTILIZACIÓN DE CEMENTO  
PORTLAND ORDINARIO MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA:**

**MONICA ALEXANDRA ROMERO CHACHA**

Macas – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS BASADOS EN  
MATERIALES COMPUESTOS SIN UTILIZACIÓN DE CEMENTO  
PORTLAND ORDINARIO MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA: MONICA ALEXANDRA ROMERO CHACHA**

**DIRECTOR: ING. LUIS PATRICIO TIERRA PEREZ**

Macas – Ecuador

2024

© 2024, **Mónica Alexandra Romero Chacha**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Mónica Alexandra Romero Chacha, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 17 de mayo 2024



**Mónica Alexandra Romero Chacha**

**140129221-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS BASADOS EN MATERIALES COMPUESTOS SIN UTILIZACIÓN DE CEMENTO PORTLAND ORDINARIO MINIMIZANDO LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**, realizado por la señorita: **MONICA ALEXANDRA ROMERO CHACHA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Jefferson Andrés Carranco López, MSc <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-05-17
Ing. Luis Patricio Tierra Pérez, Mgs <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-17
Ing. Eduardo Santiago Cazar Rivera, Mgs <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-17

## **DEDICATORIA**

Dedicado este trabajo a todos los que me acompañaron en esta etapa de mi vida principalmente a Dios y a mi madre, quien es indispensable para la ejecución de este documento, a mi familia quienes fueron mi apoyo incondicional en momentos que sentía que no podía seguir avanzando, gracias por brindarme su amor, paciencia y comprensión, sin su aliento y guía nada de esto sería posible. De igual forma expreso mi gratitud a mi pareja, por animarme en días nublosos y creer en mis capacidades, a mis pequeños angelitos del cielo y los que me acompañan hasta el día de hoy. A mis maestros, cuyas lecciones forjaron los aprendizajes que tengo hoy en día. Para mis amigos los cuales me respaldaron con palabras de aliento para seguir con mis estudios. El presente trabajo es en honor a todos ustedes, para mi pequeña familia de tres y las personas que me apoyaron en el transcurso de este largo pero satisfactorio camino. ¡Gracias por confiar en mí, los quiero!

Mónica

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud principalmente es para Dios, por permitirme vivir esta maravillosa experiencia educativa, a mi adorada madre Dolores Chacha por su sacrificio y esfuerzo constante para brindarme mejores oportunidades día a día, por apoyarme, amarme y comprenderme incondicionalmente, gracias por ser mi inspiración y sostén en cada página escrita. Deseo expresar agradecimiento a mi padre Marco Romero por el regalo de la vida y llenarla de amor y significado inigualable. Agradezco profundamente a mi hermano Bayron Romero por su inquebrantable aliento y respaldo, quien ha sido mi ancla emocional en este proceso. De igual forma mi gratitud es para mi pareja José Buestan, tu amor y entendimiento fueron mi refugio durante largas horas de estudio, agradezco sinceramente tu afecto y motivación constante. Así mismo, gracias a los docentes cuya sabiduría y orientación fueron indispensables para este logro académico. De la misma manera gratitud a mis amistades por su constante apoyo en este trayecto académico. Este trabajo de Integración Curricular no solo refleja mi dedicación, sino también el valioso respaldo de todos ustedes, gracias por ser mi fuente de fortaleza y alegría.

Mónica

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>6</b>
<i>1.3.1 Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Bases conceptuales.....</b>	<b>7</b>
<i>2.1.1 Contaminación atmosférica.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2 Cemento portland ordinario.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.3 Arcilla.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.4 Silicato de sodio.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.5 Vidrio.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.6 Ladrillo ecológico.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.7 Normativa Técnica Ecuatoriana del país.....</i>	<i>10</i>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>10</b>
<i>2.2.1 Contaminación atmosférica.....</i>	<i>10</i>

2.2.1.1	<i>Contaminación atmosférica primarios y secundarios</i> .....	11
2.2.1.2	<i>Principales tipos de contaminantes del aire</i> .....	12
2.2.1.3	<i>Gases contaminantes de la atmósfera</i> .....	12
2.2.1.4	<i>Efectos de los gases de la atmósfera en el clima</i> .....	14
<b>2.2.2</b>	<b><i>Desechos sólidos municipales</i></b> .....	<b>15</b>
2.2.2.1	<i>Generación de residuos sólidos municipales</i> .....	15
2.2.2.2	<i>Residuos orgánicos</i> .....	16
2.2.2.3	<i>Residuos plásticos</i> .....	16
2.2.2.4	<i>Residuos de cartón y papel</i> .....	16
2.2.2.5	<i>Residuos de vidrio</i> .....	17
2.2.2.6	<i>Residuos de chatarra</i> .....	17
<b>2.2.3</b>	<b><i>Manejo de residuos</i></b> .....	<b>18</b>
2.2.3.1	<i>Residuos sólidos urbanos</i> .....	18
2.2.3.2	<i>Residuos de manejo especial (RME)</i> .....	18
2.2.3.3	<i>Residuos peligrosos (RP)</i> .....	19
<b>2.2.4</b>	<b><i>Emisiones de Dióxido de Carbono por tonelada de cemento portland ordinario producido</i></b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.5</b>	<b><i>Composición del cemento portland ordinario</i></b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.6</b>	<b><i>Riesgos en la salud humana</i></b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.7</b>	<b><i>Arcilla</i></b> .....	<b>22</b>
2.2.7.1	<i>Clasificación de la arcilla</i> .....	22
2.2.7.2	<i>Propiedades fisicomecánicas de las arcillas</i> .....	23
2.2.7.3	<i>Composición química de las arcillas rojas</i> .....	25
<b>2.2.8</b>	<b><i>Silicato de sodio</i></b> .....	<b>25</b>
2.2.8.1	<i>Silicato de sodio líquido</i> .....	25
2.2.8.2	<i>Composición química del silicato de sodio</i> .....	25
2.2.8.3	<i>Aplicación del silicato de sodio en construcción</i> .....	26
<b>2.2.9</b>	<b><i>Vidrio</i></b> .....	<b>26</b>
2.2.9.1	<i>Tipos de vidrio</i> .....	26

2.2.9.2	<i>Proceso de fabricación del vidrio</i> .....	28
2.2.9.3	<i>Componentes químicos del vidrio sódico</i> .....	29
2.2.9.4	<i>Materiales de construcción con vidrio triturado</i> .....	29
<b>2.2.10</b>	<b><i>Ladrillo</i></b> .....	<b>30</b>
2.2.10.1	<i>Propiedades del ladrillo</i> .....	30
2.2.10.2	<i>Tipos de ladrillos</i> .....	31
2.2.10.3	<i>Normativas del ladrillo del país</i> .....	32
2.2.10.4	<i>Ventajas y desventajas del ladrillo ecológico en comparación de ladrillo comercial</i> .....	35
2.2.10.5	<i>Proceso de producción de ladrillos artesanales</i> .....	35

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Descripción de los procesos</b> .....	<b>39</b>
3.1.1	<i>Diagrama de flujo de proceso de obtención de ladrillos ecológico</i> .....	39
<b>3.2</b>	<b>Materiales</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>Normas</b> .....	<b>40</b>
3.3.1	<i>Enfoque</i> .....	41
<b>3.4</b>	<b>Alcance</b> .....	<b>41</b>
<b>3.5</b>	<b>Diseño</b> .....	<b>41</b>
<b>3.6</b>	<b>Nivel de investigación</b> .....	<b>42</b>
<b>3.7</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>42</b>
3.7.1	<i>Ubicación del área de estudio</i> .....	42
3.7.2	<i>Recolección de la materia prima para realizar los análisis de laboratorio</i> .....	43
3.7.3	<i>Etiquetado de la materia prima</i> .....	44
3.7.4	<i>Almacenamiento y transporte de la materia prima</i> .....	44
3.7.5	<i>Pruebas de laboratorio físicas y mecánicas</i> .....	45
3.7.5.1	<i>Pruebas físicas</i> .....	45
3.7.5.2	<i>Pruebas mecánicas</i> .....	46

<b>3.7.6</b>	<b><i>Fabricación de ladrillos ecológicos</i></b> .....	49
3.7.6.1	<i>Recolección de la materia prima</i> .....	49
3.7.6.2	<i>Purificación de la materia prima</i> .....	49
3.7.6.3	<i>Dosificación y amasado</i> .....	49
3.7.6.4	<i>Moldeado</i> .....	50
3.7.6.5	<i>Secado</i> .....	51
3.7.6.6	<i>Cocción</i> .....	51
<b>3.7.7</b>	<b><i>Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos</i></b> .....	51
3.7.7.1	<i>Resistencia mínima a la compresión</i> .....	51
3.7.7.2	<i>Absorción máxima de humedad (%)</i> .....	52
<b>3.8</b>	<b>Técnicas e instrumentos de investigación empleadas</b> .....	53
3.8.1	<i>Pruebas de laboratorio físicas y mecánicas</i> .....	53
3.8.2	<i>Fabricación de los ladrillos ecológicos</i> .....	53
3.8.3	<i>Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos</i> .....	54

#### **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	55
<b>4.1</b>	<b>Pruebas físicas</b> .....	55
4.1.1	<i>Resultados de humedad</i> .....	55
4.1.2	<i>Absorción</i> .....	55
<b>4.2</b>	<b>Pruebas mecánicas</b> .....	56
4.2.1	<i>Granulometría</i> .....	56
4.2.2	<i>Límite Atterberg de la arcilla roja</i> .....	57
<b>4.3</b>	<b>Resultados de los ladrillos ecológicos</b> .....	60
4.3.1	<i>Porcentaje de absorción máxima de humedad</i> .....	60
4.3.2	<i>Resistencia mínima a la compresión</i> .....	61

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	69
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones</b> .....	69
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	70

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Principales compuestos del cemento .....	21
<b>Tabla 2-2:</b>	Composición del vidrio (los números indican el porcentaje) .....	27
<b>Tabla 3-1:</b>	Etiquetado de muestra de la arcilla roja.....	40
<b>Tabla 3-2:</b>	Coordenadas de la selección del punto de muestreo .....	43
<b>Tabla 3-3:</b>	Etiquetado de muestra de la arcilla roja.....	44
<b>Tabla 3-4:</b>	Dosificación de los materiales compuestos para los ladrillos ecológicos .....	50
<b>Tabla 3-5:</b>	Dimensiones modulares normales de los ladrillos cerámicos .....	50
<b>Tabla 3-6:</b>	Dimensiones a escala de los ladrillos ecológicos .....	51
<b>Tabla 4-1:</b>	Porcentaje de humedad natural de la muestra de arcilla roja.....	55
<b>Tabla 4-2:</b>	Porcentaje de humedad natural de la muestra de arcilla roja.....	56
<b>Tabla 4-3:</b>	Repartimiento granulométrico de arcilla roja.....	56
<b>Tabla 4-4:</b>	Límite líquido de la arcilla roja .....	58
<b>Tabla 4-5:</b>	Límite plástico de la arcilla roja .....	59
<b>Tabla 4-6:</b>	Carta del Índice de plasticidad de la arcilla roja.....	59
<b>Tabla 4-8:</b>	Resultados del porcentaje máximo de humedad de los ladrillos ecológicos .....	60
<b>Tabla 4-9:</b>	Resultados del porcentaje máximo de humedad de los ladrillos comerciales .....	61
<b>Tabla 4-10:</b>	Resultados de referencia de resistencia mínima de compresión de los ladrillos ....	62
<b>Tabla 4-11:</b>	Resultados de resistencia mínima de compresión de los ladrillos cocidos.....	64
<b>Tabla 4-12:</b>	Resultados de referencia de resistencia mínima ladrillos comerciales .....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Extracción de arcilla roja .....	36
<b>Ilustración 2-2:</b>	Purificación de la arcilla roja .....	36
<b>Ilustración 2-3:</b>	Amasado .....	37
<b>Ilustración 2-4:</b>	Amasado .....	37
<b>Ilustración 2-5:</b>	Secado.....	38
<b>Ilustración 2-6:</b>	Cocción.....	38
<b>Ilustración 3-1:</b>	Diagrama de flujo. ....	39
<b>Ilustración 3-2:</b>	Mapa de ubicación del área de estudio, Rio Blanco, sector Timbiana .....	42
<b>Ilustración 3-3:</b>	Punto de muestreo del área de estudio, Rio Blanco, sector Timbiana .....	43
<b>Ilustración 4-1:</b>	Repartimiento granulométrico de arcilla roja .....	57
<b>Ilustración 4-2:</b>	Porcentaje de humedad vs número de golpes de la arcilla roja.....	58
<b>Ilustración 4-3:</b>	Carta de plasticidad de la arcilla roja.....	59
<b>Ilustración 4-4:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 1.	62
<b>Ilustración 4-5:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 2.	63
<b>Ilustración 4-6:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 3.	63
<b>Ilustración 4-7:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 1	64
<b>Ilustración 4-8.</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 2	65
<b>Ilustración 4-9:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 3	65
<b>Ilustración 4-10:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 4	66
<b>Ilustración 4-11:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 5	66
<b>Ilustración 4-12:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 1 .....	67
<b>Ilustración 4-13:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 2 .....	68
<b>Ilustración 4-14:</b>	Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 3 .....	68

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ADQUISICIÓN MATERIA PRIMA

**ANEXO B:** TRITURADO DEL VIDRIO

**ANEXO C:** PRUEBA DE LABORATORIO ABSORCIÓN

**ANEXO D:** LÍMITE PLÁSTICO DE LA ARCILLA

**ANEXO E:** LIMITE LIQUIDO DE LA ARCILLA

**ANEXO F:** GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA

**ANEXO G:** HUMEDAD DE LA ARCILLA

**ANEXO H:** PREPARACIÓN DE LA MEZCLA PARA LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS Y  
MOLDEADO

**ANEXO I:** COCCIÓN DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS Y PESADOS (CRUDOS)

**ANEXO J:** LADRILLOS ECOLÓGICOS COCINADOS Y PESADOS

**ANEXO K:** DIMENSIONES LADRILLOS CRUDOS (COLOR CAFÉ) Y COCIDOS (COLOR  
ROJIZO)

**ANEXO L:** LADRILLOS ECOLÓGICOS COCIDOS

**ANEXO M:** PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS COCIDOS

**ANEXO N:** PRUEBAS DE RESISTENCIA LADRILLOS ECOLÓGICOS CRUDOS

**ANEXO O:** PRUEBAS DE RESISTENCIA LADRILLOS COMERCIALES

**ANEXO P:** ABSORCIÓN DE LOS LADRILLOS

**ANEXO Q:** OBSERVACIÓN EN EL MICROSCOPIO DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS  
CRUDOS, COCIDOS Y COMERCIALES

## RESUMEN

Los problemas ambientales son, en su mayoría, resultado de cambios en la interacción entre la sociedad y su ecosistema. Durante el año 2020, Ecuador recogió aproximadamente 4.14 millones de toneladas de residuos, sin embargo, en el año 2022 se generó 2,01 millones de toneladas de desechos sólidos. Uno de los problemas son las botellas de vidrio elaboradas con materias primas, generando un impacto ambiental negativo. Asimismo, su fabricación implica un alto consumo de energía, ya que sus operaciones exigen altas temperaturas, causando daños en la atmósfera, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue elaborar ladrillos ecológicos basados en materiales compuestos sin utilización de cemento portland ordinario, minimizando la contaminación ambiental. La metodología empleada tuvo un enfoque mixto, puesto que se utilizaron métodos cuantitativos para medir los valores de diversas propiedades de materiales compuestos, con el fin de caracterizarlos en relación con su potencial de uso en la producción. Además, se realizaron análisis de laboratorio de propiedades físicas y mecánicas, empleando métodos cualitativos para establecer las características de los materiales. A partir de la metodología empleada y basado en la norma técnica ecuatoriana INEN 294, la cual establece que la resistencia individual de los ladrillos macizos tipo C debe ser de al menos 6 MPa, se comprobó que todas las muestras del ladrillo ecológico en bruto cumplen con los requisitos. Finalizada la investigación, se concluye que la composición adecuada para fabricar ladrillos ecológicos sin utilizar cemento portland ordinario es de 20.000 g de arcilla roja, 4.000 g de vidrio, 1.000 g de silicato de sodio y aproximadamente 6.000 ml (6.000 g) de agua, sumando un total de 31.020 gramos que se utilizan en la elaboración de los ladrillos ecológicos contribuyendo a la minimización de desechos sólidos generados en Ecuador.

**Palabras clave:** <LADRILLO >, <ECOLÓGICO >, <FABRICACIÓN >, <RESIDUOS >, <VIDRIO >, <CEMENTO PORTLAND >.

0564-DBRA-UPT-2024



## ABSTRACT

Environmental problems are mostly the result of changes in the interaction between society and its ecosystem. During the year 2020, Ecuador collected approximately 4.14 million tons of waste; however, in the year 2022, 2.01 million tons of solid waste will be generated. One of the problems are glass bottles made from raw materials, generating a negative environmental impact. Likewise, their manufacture involves high energy consumption, since their operations require high temperatures, causing damage to the atmosphere; therefore, the aim of the present research was to produce ecological bricks based on composite materials without using ordinary Portland cement, minimizing environmental pollution. The methodology employed had a mixed approach, since quantitative methods were used to measure the values of various properties of composite materials, in order to characterize them in relation to their potential for use in production. In addition, laboratory analyses of physical and mechanical properties were performed, using qualitative methods to establish the characteristics of the materials. Based on the methodology used and on the Ecuadorian technical standard INEN 294, which establishes that the individual strength of type C solid bricks must be at least 6 MPa, it was found that all the samples of the raw ecological brick meet the requirements. At the end of the investigation, it is concluded that the adequate composition to manufacture ecological bricks without using ordinary Portland cement is 20,000 g of red clay, 4,000 g of glass, 1,000 g of sodium silicate and approximately 6,000 ml (6,000 g) of water, totaling 31,020 grams that are used in the manufacture of ecological bricks contributing to the minimization of solid waste generated in Ecuador.

**Keywords:** <BRICK >, <ECOLOGICAL >, <FABRICATION >, <WASTE >, <RESIDUES >, <GLAZE >, <CEMENT PORTLAND >.



Lcda. Silvia Elizabeth Cárdenas Sánchez, Msc  
C.I. 0603927351

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las principales preocupaciones de la sociedad mundial es la protección del medio ambiente con el fin de compensar los daños causados por el ser humano y evitar su mayor deterioro, ya que afecta directa e indirectamente a la salud y el bienestar de las personas, el uso de nuevos materiales en la producción de ladrillos ha sido investigado y estudiado en diferentes países del mundo y se ha llegado a producir nuevos materiales para la industria de la construcción más amigables con el ambiente, el objetivo de la creación de este tipo de ladrillos es reducir los costos de construcción y producir alternativas innovadoras, considerando que muchos materiales son desperdiciados, sin darnos cuenta de que reciclarlos puede crear enormes cambios que afecten directamente al mundo entero (Gambin-Martínez et al. 2023, pág. 65).

Los denominados ladrillos ecológicos comenzaron a aparecer en los países latinoamericanos y se convirtieron en una materia prima importante para promover la construcción ecológica y de esta manera cuidar del medio ambiente (Martín-Morales et al. 2018, p. 56). Investigadores mexicanos han inventado un ladrillo que reduce la huella ecológica a un precio menor, este descubrimiento vinculado al reciclaje y práctica de fabricación más ecológicas, podrían ser el futuro de la bioconstrucción (Gambin-Martínez et al. 2023, pág. 67).

La principal ventaja de los ladrillos ecológicos es que a diferencia de los ladrillos tradicionales, no requieren cocción, lo que significa menos contaminación del aire, ahorro de combustible y un entorno más seguro para los fabricantes de ladrillos, al utilizar residuos sólidos domésticos, tierra erosionada y otros componentes naturales como materia prima, este beneficio para el medio ambiente se multiplica varias veces, entre las características del ladrillo se encuentra su capacidad para construir debido a la excelente capacidad del material para aislar el calor y sonido, además son más resistentes a la compresión a pesar de demostrar que son tres veces más ligeros (Freire et al. 2021, pág. 24).

La contaminación ambiental es un proceso cíclico que involucra todos los elementos: aire, agua y suelo (Freire et al. 2021, pág. 25). En el año 2020, el Ecuador recolectaba aproximadamente 4.140.512 toneladas de residuos al año de las cuales corresponde un 61% a residuos orgánicos apropiados; 11% plástico; 9.40% cartón y papel; 2.60% vidrio; 2.2% chatarra y el 13.30 % restante corresponde a otro tipo de residuos (Fierro et al. 2023, pág. 27). De acuerdo con Tello y Sánchez (2019, pág. 33) los datos reportados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2018 para la Amazonía el 70.71% no posee un buen manejo de residuos sólidos, generando un alto índice de contaminación y un impacto negativo al medio ambiente.

A pesar de todo, considerando que el crecimiento demográfico y los cambios en los patrones de consumo han exacerbado el problema ambiental y la contaminación del mismo, por la disposición final de los residuos sólidos. Según Ibáñez, et al. (2021, pág. 52) determinan que los niveles de contaminación siguen siendo altos en la Provincia de Morona Santiago, concretamente en la ciudad de Macas, el medio ambiente se está deteriorando por el limitado manejo de residuos, por la falta de políticas públicas en materia de manejo de residuos sólidos, la contaminación es un problema ambiental y es resultado de varios factores, el más importante la responsabilidad compartida de todos los actores sociales de la comunidad, provincia y país por la evidente mala estructura social para resolver este tipo de problemas.

Por otro lado, se examina como alternativa la elaboración de los conocidos ladrillos verde o ecológicos, es un material diseñado específicamente para reducir el impacto ambiental. A diferencia de los bloques tradicionales, este tipo de ladrillos se producen utilizando elementos más sostenibles y menos contaminantes, su producción no genera contaminación ni residuos y utiliza un proceso que reduce el consumo de energía en la extracción de materias primas, además de ser respetuoso con el medio ambiente, tiene los mismos usos que los ladrillos tradicionales en la industria de la construcción (Campoverde et al. 2023, pág. 102).

En efecto, el impacto actual del medio ambiente es un tema muy discutido y debatido, dentro de la presente investigación específicamente se hablará respecto a las botellas de vidrio, ya que para unos el vidrio no contamina el medio ambiente, y otros autores confirman que el vidrio y los envases compuestos del mismo son muy dañinos para la naturaleza, porque es un producto que puede durar generaciones. Las botellas de vidrio se elaboran a partir de materias primas a una temperatura muy alta, considerando que la producción de botellas de vidrio puede dañar la atmósfera terrestre porque genera demasiada energía (Carrasco, 2019, pág. 105).

Así mismo se considera que la tierra roja es un material de construcción que se ha utilizado a través del tiempo; la gente se familiarizó con sus propiedades y aprendió a mejorar su durabilidad añadiendo otros elementos como refuerzo (Alonso, 2017, pág. 41). La construcción con la mezcla de tierra roja ha sido uno de los sistemas constructivos de viviendas más populares desde la antigüedad y ha resistido el paso del tiempo, caracterizándose por su capacidad de resistencia (Cañola et al. 2018, pág. 12).

Considerando la gran cantidad de residuos que producen los envases de vidrio en nuestro medio, se ofreció la oportunidad de darle una nueva aplicación a este material, consistente en sustituir parte del árido fino de los bloques por su reducido peso por partículas de vidrio, con el fin de evaluar algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, otro aspecto de análisis es la reducción

del costo relacionado con la producción de materiales de construcción, métodos innovadores en cuanto a la reutilización de este material en la producción de ladrillos, así como el impacto positivo que generaría al medio ambiente la creación de ladrillos ecológicos a raíz de la reutilización de vidrio triturado (Ramírez et al. 2021, pág. 41). Los materiales reciclables se han utilizado en ingeniería como una alternativa que no sólo trabaja con el medio ambiente, sino que también cambia el desempeño de los materiales de construcción.

Los procesos industriales y las actividades humanas generan grandes cantidades de residuos, cuyo control o tratamiento es uno de los problemas más importantes en la actualidad, si se considera el reciclaje como medida para mitigar el impacto ambiental, se debe tomar en cuenta la reutilización de productos usados para un fin diferente hacia su destino originalmente (Urbil, 2017, pág. 171). Utilizándolos como materia prima en nuevos procesos de fabricación, por lo que la combinación de elementos con materiales reciclables ha demostrado ser una alternativa eficiente para la industria que puede reducir significativamente el impacto negativo sobre el medio ambiente. Por ello, el objetivo del proyecto es fabricar ladrillos ecológicos basados en materiales compuestos sin utilización de cemento portland ordinario minimizando la contaminación ambiental.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

Los problemas ambientales en su mayoría son el resultado de cambios en la interacción entre la sociedad y su ecosistema, de acuerdo con el Banco Mundial (2018, pág. 46) menciona que en el año 2022 se generó 2.010.000 toneladas de desechos sólidos municipales a nivel mundial, por otro lado, en el año 2020 el Ecuador recolectaba aproximadamente 4.140.512 toneladas de residuos al año de las cuales corresponde un 61% a residuos orgánicos; 11% plástico; 9.40% cartón y papel; 2.60% vidrio; 2.20% chatarra y el 13.30 % restante corresponde a otro tipo de residuos (Fierro et al. 2023, pág. 26). En la actualidad los seres humanos son conscientes del efecto negativo producido por la contaminación ambiental, dentro de los cuales las botellas de vidrio se elaboran con materias primas extraído de minerías causando un impacto ambiental en su entorno, además que la elaboración del vidrio demanda un elevado consumo de energía, puesto que se ejecuta a altas temperaturas produciendo un daño a la atmósfera (Vinos Aldana 1988, pág. 125).

Tello y Sánchez (2019, pág. 23) argumentan que el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2018 el 70.71% de la Amazonía no posee un buen manejo de residuos sólidos, generando un alto índice de contaminación y un impacto negativo al medio ambiente, Ibáñez, et al. (2021, pág. 78) determinan que los niveles de contaminación siguen siendo elevados en la Provincia de Morona Santiago, concretamente en la ciudad de Macas, el entorno se está deteriorando por el limitado manejo de residuos y falta de políticas públicas. Asimismo, otro factor que incide negativamente en el medio ambiente durante su producción es el bloque y el cemento, siendo estos uno de los materiales más utilizados en la construcción de todas las infraestructuras, ya sean casas, edificios, plazas, almacenes entre otros, y teniendo gran demanda en todos los países (Moreno y Maroto 2011, pág. 95).

Según Vázquez (2022, pág. 88) alega que las empresas cementeras son responsables de aproximadamente el 8% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, la composición de los bloques y la producción de estos crean problemas ambientales, debido a que en el proceso se necesita hornear el bloque, utilizando como combustible, llantas, carbón, pilas, plástico, textiles, leña, entre otros, llegando a contaminar de manera significativa el ambiente, por medio de los gases que liberan los productos de combustión mismo que llegan a la atmósfera, así como la producción del cemento está indisolublemente ligada al fenómeno del cambio climático,

según Sánchez, (2019, pág. 112) los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, no pueden permitir que escape el calor del sol, lo que hace que aumente la temperatura global promedio.

Considerando el principal problema de generación de desechos como es el vidrio y la contaminación atmosférica emitida por las industrias cementeras, se formuló la siguiente incógnita, ¿En qué medida la fabricación de ladrillos ecológicos basados en materiales compuestos sin utilización de cemento portland ordinario ayudará a minimizar la contaminación ambiental?

## **1.2 Justificación**

De acuerdo con Fonseca y Reyes (2015, pág. 78) para millones de personas en el mundo, el cemento es la mejor opción para la construcción, en el pasado, el adobe se utilizaba por el cemento y tenía varios usos. Según diversos análisis, más de la mitad de la población mundial sólo vive en viviendas adecuadas y construidas con bloques de cemento (Balvin et al. 2019, pág. 103). Actualmente los procesos ecológicos se emplean en una amplia gama de nuevos materiales de construcción, sustituyendo alguno de ellos y teniendo las mismas características pero con un impacto ambiental positivo, debido a sus excelentes propiedades, mecánicas y elevada resistencia como materia prima, así como la evolución de la tecnología para los rediseños y búsqueda de procesos y materiales que no afecten al medio ambiente, es por eso que este estudio se orienta básicamente a optimizar la formulación de alternativas ecológicas para la industria de construcción (Prolyss CA, 2008, pág. 45).

De igual manera Fonseca y Reyes (2015, pág. 78) manifiestan que, en la actualidad la contaminación ambiental es uno de los problemas más sonados y que afecta de manera directa a la salud pública. Por lo tanto, es de suma importancia incrementar el conocimiento y la conciencia a la población para solucionar el problema provocado por la gran cantidad de gas producido en la producción y fabricación de bloques tradicionales, así como la contaminación ocasionada por la gran generación de desechos sólidos (Gómez, 2018, pág. 46). Nos hemos enfocado en la reutilización de embaces de vidrio para la construcción de ladrillos sin la utilización de cemento portland ordinario, utilizando sus propiedades de resistencia y termo aislamiento (Kumar et al. 2023, pág. 74). En base al análisis de la investigación teórica se ha procedido a realizar distintas actividades que permitan identificar el problema y buscar las posibles soluciones. A través de estudios de titulación en la Escuela Politécnica de Chimborazo, artículos de revistas indexadas y datos de sitios web comprobables, se concluye la posibilidad de crear e implementar la producción y fabricación de ladrillos ecológicos, para llegar a esta determinación los autores de la investigación

estudiaron la cantidad de botellas y recipientes de vidrio que se desechan a nivel local en la ciudad de Macas en la Provincia de Morona Santiago, así como las propiedades de la tierra roja y la fusión de las mismas, para la verificación a través de pruebas de resistencia y pruebas mecánicas a fin de conocer si la fabricación del ladrillo ecológico es viable y cumple con los parámetros de la normativa ecuatoriana.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Elaborar ladrillos ecológicos basados en materiales compuestos sin utilización de cemento portland ordinario minimizando la contaminación ambiental.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Determinar la dosificación necesaria de materiales compuestos para la ejecución de ladrillos ecológicos.
- Realizar la caracterización física y mecánica de los ladrillos ecológicos con las diferentes proporciones de materiales compuestos.
- Comparar los resultados de la resistencia mecánica de los ladrillos ecológicos con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 297:1977.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Bases conceptuales

##### 2.1.1 *Contaminación atmosférica*

De acuerdo con Aránguez, (2019, pág. 78) se entiende por contaminación atmosférica la presencia de sustancias o formas de energía en el aire que causan riesgo, daño o sufrimiento grave a cualquier tipo de persona y bienes. La contaminación del aire por fuentes naturales siempre ha sido erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arena, descomposición de materia orgánica o polen, etc., porque, pero fue después de que los humanos descubrieron el fuego que apareció la contaminación del aire provocada por el hombre, o la contaminación del aire en su verdadero sentido. En primer lugar, desde la revolución industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía, ha adquirido cada vez más importancia. Si bien la contaminación atmosférica puede ser causada por la liberación o salida de gases u otras sustancias volátiles que se almacenan o utilizan de diversas formas, la principal fuente de contaminación es el proceso asociado a la combustión, donde los diversos elementos que componen el combustible.

Por tanto, los contaminantes pueden clasificarse según su origen. Durante la combustión, el carbono del combustible y el nitrógeno del aire se oxidan para formar dióxido de carbono (un gas no tóxico, pero con importantes efectos indirectos sobre el medio ambiente y la salud, ya que contribuye al calentamiento global) y óxidos nitrógeno respectivamente. Otros componentes del combustible y las materias primas determinan partículas, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, etc. La propia combustión incompleta produce emisiones de monóxido de carbono, partículas y bifenilos policlorados, entre otros (Jiménez 2020, pág. 47).

Sin embargo, el conocimiento de los contaminantes y las fuentes de emisión no cubre los complejos procesos de la contaminación del aire. Las propiedades estructurales y dinámicas de la atmósfera y las características morfológicas del terreno determinan la distribución espacial y la evolución temporal de los contaminantes. La difusión configura las concentraciones atmosféricas cambiantes de contaminantes (emisiones) en el área afectada por la fuente de emisión.

La evolución de los contaminantes provoca la aparición de nuevos contaminantes que no provienen directamente de su fuente: son contaminantes secundarios, como el ozono, que se forma

a partir de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles de la luz solar, o el ácido sulfúrico, que se forma por la oxidación del azufre, dióxido de carbono. Aunque la determinación de la exposición individual depende de muchos factores, se puede decir que conocer los valores de absorción en el aire ambiente nos acerca a qué está expuesta la población (Raheison, 2020, pág. 69).

### **2.1.2 *Cemento portland ordinario***

De acuerdo con el autor se define como:

El cemento Portland es un polvo finamente molido que consiste principalmente en silicato de calcio y una pequeña cantidad de aluminato de calcio. Cuando se mezcla con agua, se forma una pasta que se endurece a temperatura ambiente. También se le conoce como "cemento hidráulico" debido a su capacidad para endurecerse en presencia de agua, ya que reacciona químicamente con el agua para formar un material con excelentes propiedades de unión. Es el tipo de cemento más utilizado en la construcción. Sin embargo, al principio no fue así, ya que los complejos procedimientos para conseguir su fijación encarecían su fabricación. Está claro que los avances tecnológicos están permitiendo una producción rápida en todo el mundo (Hernández et al., 2018, pág.55).

### **2.1.3 *Arcilla***

La arcilla es un depósito de suelo formado en el proceso de acumulación de minerales, es el desarrollo geológico en la corteza terrestre; material de grano fino con dimensiones partículas menores de 2 micras; Son minerales de aluminosilicatos cristalino hidratado, tiene propiedades plásticas, contiene suficiente agua y se endurece al secarse y quemar.

Una definición más amplia fue:

Especificar, la arcilla es un compuesto formado por la descomposición de minerales y sustancias coloidales, cambios químicos en grandes rocas de alúmina a lo largo del tiempo debido a varios procesos geológicos, dado que los procesos geológicos son constantes y la tierra está envejeciendo, se cree que la arcilla es un material abundante en la corteza terrestre (Obregón y Osorio 2022, pág. 111).

#### **2.1.4 Silicato de sodio**

Según el autor se define como:

El silicato de sodio, técnicamente llamado meta silicato de sodio, es una sustancia blanca que puede encontrarse en forma sólida o diluida en agua, la sustancia consta de dos átomos de sodio (Na), un átomo de silicio (Si) y tres átomos de oxígeno (O). Por tanto, su fórmula química es:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Silva 2011, pág. 71).

Generalmente causado por una reacción entre carbonato de sodio y sílice. Sin embargo, el silicato de sodio líquido se elabora mezclando cantidades precisas de óxido de sodio y óxido de silicio en agua.

Por otro lado Nascimento et al., (2014, pág. 79) define el meta silicato de sodio, o silicato de sodio (el nombre común del compuesto de silicato de sodio), también conocido como vidrio soluble, es una sustancia inorgánica con la fórmula química  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  que se presenta en soluciones acuosas y como sólido en muchos compuestos, incluido el cemento y los agentes impermeabilizantes, refractarios y procesos textiles. Se forma cuando el carbonato de sodio y la sílice o arena de sílice reaccionan durante aprox. 1400 °C, formando silicato de sodio y dióxido de carbono.

#### **2.1.5 Vidrio**

El vidrio es un material visiblemente duro (macroscópicamente), pero también es un material quebradizo y frágil que muchas veces parece transparente a simple vista, aunque hay una gran cantidad de vidrio opaco que a veces se utiliza para aplicaciones especiales. El diseño y el color suelen ser causados por el contenido de impurezas de su red vítrea (Carrasco 2019, pág. 84).

Según el autor se define al vidrio como:

El vidrio es un material amorfo caracterizado por la transparencia en la región visible del espectro electromagnético. Esta propiedad condujo al desarrollo del vidrio comercial (también conocido como vidrio ordinario). Este tipo de vidrio se produce para uso residencial, construcción, automoción, alumbrado público y cualquier tipo de uso. Generalmente, estos materiales de vidrio utilizan dióxido de silicio como óxido formador, con óxidos de metales alcalinos y óxidos de metales alcalinotérreos añadidos, que hacen que el vidrio sea brillante, transparente e insoluble en agua, lo que duplica el uso del vidrio (Romero et al. 2021, pág. 14)

### **2.1.6 Ladrillo ecológico**

De acuerdo el autor se define al ladrillo ecológico como:

También conocido como ladrillo verde o sostenible, es un material diseñado específicamente para reducir el impacto ambiental. A diferencia de los bloques tradicionales, este tipo de bloques se producen utilizando elementos más sostenibles y menos contaminantes. Por otro lado, su producción no genera contaminación ni residuos y utiliza un proceso que reduce el consumo de energía en la extracción de materias primas. Además de ser respetuoso con el medio ambiente, tiene los mismos usos que los ladrillos tradicionales en la industria de la construcción (Romero et al. 2021, pág. 14).

Los ladrillos ecológicos son elementos arquitectónicos elaborados con materiales reciclables que no dañan el medio ambiente. El proceso de cocción no requiere mucha energía y reduce la emisión de contaminantes a la atmósfera. Es un ladrillo más ligero, más económico, ahorra calor y puede soportar diversos elementos naturales y alta presión. Por tanto, son muy duraderos y actúan como aislante térmico (Carrasco & Tinoco, 2018, pág. 78 ).

### **2.1.7 Normativa Técnica Ecuatoriana del país**

Los documentos normativos ecuatorianos son una recomendación que corresponde al estado de la técnica, considera aspectos de calidad y puede cubrir alguno o algunos de los objetivos legítimos definidos por la OMC, para todas las partes interesadas; pero siempre facilitando el espacio necesario para la innovación. Las normas INEN es un reglamento técnico que evalúa la conformidad de los productos con base en la normativa técnica ecuatoriana. Su idea básica es satisfacer las necesidades locales y promover el comercio local e internacional, lo que contribuye a la mejora continua de la empresa y la mejora de la competitividad (Bustamante et al., 2023, pág. 88).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Contaminación atmosférica**

Según el autor se entiende por contaminación atmosférica como:

La presencia en la atmósfera de una determinada cantidad de sustancias que provocan un malestar o riesgo para la salud de las personas y otros seres vivos, que tienen su origen

en cualquier fuente natural y que pueden atacar diversos materiales, reducir la visibilidad o crear un olor desagradable. El término contaminación del aire generalmente se refiere a cambios que son dañinos para los seres vivos y elementos materiales, a diferencia de otros cambios inofensivos. Los principales mecanismos de contaminación del aire son los procesos industriales que implican la combustión en la industria, los automóviles y la calefacción doméstica, que producen dióxido de carbono y contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre (Ballester, et al. 2019, pág. 56).

Además, algunas industrias emiten gases nocivos durante los procesos productivos, como la combustión incompleta de cloro o hidrocarburos. La contaminación atmosférica puede ser local, donde los efectos asociados a una fuente de contaminación se afectan cerca de ella, o global, donde las propiedades de la contaminación afectan el equilibrio entre la tierra y áreas alejadas de la fuente de emisión.

#### 2.2.1.1 Contaminación atmosférica primarios y secundarios

De acuerdo con el autor los contaminantes primarios son:

Los que se emiten directamente a la atmósfera, como el dióxido de azufre  $SO_2$ , que daña directamente la vegetación e irrita los pulmones. Los contaminantes secundarios son contaminantes formados por procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sustancias no contaminantes de la atmósfera (Ballester 2005, pág. 96).

Los contaminantes secundarios importantes son el ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ , que se forma por la oxidación de  $SO_2$ , el dióxido de nitrógeno  $NO_2$ , que se forma por la oxidación del contaminante primario  $NO$ , y el ozono  $O_3$ , que se forma a partir del oxígeno  $O_2$ . Tanto los contaminantes primarios como los secundarios pueden depositarse en la superficie terrestre mediante precipitación. El nitro metano es un compuesto orgánico con la fórmula química  $CH_3NO_2$ . Es el compuesto nitro o derivado nitro más simple. Similar en muchos aspectos al nitro etano, el nitro metano es un líquido ligeramente viscoso y altamente polar que se usa comúnmente como solvente en muchas aplicaciones industriales, como extracción, como medio de reacción y como solvente de limpieza. Como intermediario en la síntesis orgánica, se utiliza ampliamente en la producción de productos farmacéuticos, pesticidas, explosivos, fibras y recubrimientos. También se utiliza como combustible de carreras en automóviles modificados para soportar una alta aceleración y en motores de combustión interna en automóviles en miniatura como los modelos de automóviles (Balderas et al., 2020, pág. 205).

### *2.2.1.2 Principales tipos de contaminantes del aire*

Los vapores y los contaminantes gaseosos están presentes en concentraciones variables en ambientes interiores y exteriores. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Estos compuestos se producen a partir de diversas fuentes, pero la principal fuente artificial es la quema de combustibles fósiles (Grijalva et al., 2020, pág. 109).

La contaminación del aire interior es causada por el consumo de tabaco, el uso de ciertos materiales de construcción, productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de los volcanes y la industria. La forma más común de contaminación del aire es el smog. El smog generalmente se refiere a una condición causada por los efectos de la luz solar en los gases de escape de los automóviles y las fábricas (Yélamos et al., 2022, pág. 105).

### *2.2.1.3 Gases contaminantes de la atmósfera*

#### *Monóxido de carbono*

De acuerdo con el autor es uno de los productos de la combustión incompleta y lo define como:

Peligroso para los humanos y los animales porque se une a la hemoglobina en la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno por el cuerpo. Además, es inodoro y cuando sientes un ligero dolor de cabeza, ya es demasiado tarde. Se diluye fácilmente en el aire ambiente, pero su concentración en un ambiente cerrado lo hace muy tóxico e incluso fatal. Cada año se producen varias intoxicaciones mortales debido a que los incineradores funcionan en habitaciones mal ventiladas. Los motores de combustión interna de los coches emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, por lo que en zonas muy urbanizadas las concentraciones de este gas suelen ser demasiado altas, alcanzando concentraciones de 50-100 ppm y son peligrosas para la salud humana (Castro et al., 2017, pág. 84).

#### *Dióxido de carbono*

Según Cusco & Picón, el dióxido de carbono es:

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera aumenta debido al uso de combustibles fósiles como energía, lo que teóricamente puede ser responsable del aumento de la temperatura de la Tierra: el efecto invernadero, la magnitud de estos impactos en el clima global depende de los datos utilizados en los modelos teóricos, por lo que algunos modelos predicen un cambio climático rápido y catastrófico, mientras que otros modelos muestran impactos climáticos limitados. La reducción de las emisiones atmosféricas de dióxido de carbono equilibrará el ciclo general del carbono mediante el uso de grandes sumideros de carbono, como las profundidades del océano y los sedimentos (Cusco & Picón, 2015, pág. 204).

### *Monóxido de nitrógeno*

También conocido como óxido nitroso (II), es un gas incoloro poco soluble en agua y se produce al quemar combustibles fósiles en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente a dióxido de nitrógeno,  $\text{NO}_2$ , y luego a ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , produciendo lluvia ácida (Cusco & Picón, 2015, pág. 205).

### *Dióxido de azufre*

La mayor fuente de emisiones de dióxido de azufre en la atmósfera es la quema de carbón sulfuroso. El  $\text{SO}_2$  que se produce al quemar azufre se oxida formando ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , un componente de la llamada lluvia ácida que es perjudicial para las plantas y provoca manchas en las que las gotas de ácido entran en contacto con las hojas.  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$  La lluvia ácida se forma cuando la humedad del aire se combina con óxidos de nitrógeno o dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y automóviles que queman carbón o petróleo.

Para Castro et al., se identifica como la combinación química:

Los gases y vapor de agua forma ácido sulfúrico y ácido nítrico, que caen al suelo en forma de precipitación, los contaminantes que componen pueden viajar largas distancias, transportados por los vientos durante miles de kilómetros, antes de asentarse con el rocío normal, el aguanieve, la lluvia, el granizo, la nieve o la niebla, combinados con los gases mencionados anteriormente, el  $\text{SO}_2$  también puede atacar los materiales de construcción, que a menudo están compuestos de minerales carbonatados como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en agua que afectan la integridad y longevidad de un edificio o escultura (Castro et al., 2017, pág. 89).

### *Metano*

Para Cusco & Picón, se define el metano como:

El metano (CH<sub>4</sub>) es un gas producido por la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno; Ocurre en pantanos, marismas y arrozales de los trópicos húmedos. También se produce durante la digestión y defecación de los herbívoros. El metano es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global de la Tierra porque aumenta la capacidad de la atmósfera para retener calor (Cusco & Picón, 2015, pág. 71).

### *Ozono*

Para Castro et al., se define el ozono como:

El ozono O<sub>3</sub> es un componente natural de la atmósfera, pero si su concentración es superior a la normal, se considera un gas contaminante. Su rango de concentración al nivel del mar es de aproximadamente 0,01 mg kg<sup>-1</sup>. Si la contaminación de los gases de escape de los automóviles es fuerte y la radiación solar es fuerte, el contenido de ozono aumentará a 0,1 mg kg<sup>-1</sup>. Las bajas concentraciones de ozono pueden afectar el desarrollo de las plantas. Los seres humanos también se ven afectados por el ozono en concentraciones de 0,05 a 0,1 mg kg<sup>-1</sup>, provocando irritación de las fosas nasales y la garganta y sequedad de las membranas mucosas del tracto respiratorio (Castro et al. 2017, pág. 201).

#### *2.2.1.4 Efectos de los gases de la atmósfera en el clima*

**Impacto climático:** Los contaminantes suelen aumentar o alejarse de su fuente, pero no se acumulan hasta niveles peligrosos. Los patrones de viento, las nubes, las precipitaciones y la temperatura pueden afectar la rapidez con la que los contaminantes abandonan un área. Un clima que atrapa la contaminación del aire en los valles o la mueve a la superficie puede perturbar un ambiente limpio lejos de la fuente original de contaminación.

La contaminación del aire es causada por sustancias no deseadas que ingresan a la atmósfera. Este es un gran problema en la sociedad actual. Aunque la contaminación del aire tiende a ser un problema mayor en las ciudades, los contaminantes afectan el aire en todas partes. Estas sustancias incluyen diversos gases y pequeñas partículas o partículas que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. La contaminación puede ser en forma de gases, líquidos o sólidos. Muchos contaminantes se liberan al aire como resultado de las actividades

humanas. La contaminación existe en diferentes niveles: personal, nacional y global. (Berruezo y Jiménez 2017, pág. 29).

***El efecto invernadero:*** impide que parte del calor recibido del sol salga de la atmósfera y regrese al espacio. Calienta la superficie de la tierra, hay una cierta cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera y estos gases son absolutamente necesarios para el calentamiento global, pero en las proporciones adecuadas. Actividades como la quema de combustibles basados en carbono aumentan esta proporción y, por tanto, el efecto invernadero, muchos científicos creen que el calentamiento global está ocurriendo por otros gases que causan este problema incluyen los clorofluorocarbonos (CFC), el metano, el óxido nitroso y el ozono (Márquez 2021, pág. 45).

***Destrucción de la capa de ozono:*** El ozono es la forma O<sub>3</sub> de oxígeno en la atmósfera superior de la Tierra, la destrucción de la capa de ozono se debe principalmente al uso de clorofluorocarbonos (CFC). Una fina capa de moléculas de ozono en la atmósfera absorbe parte de la luz ultravioleta antes de que llegue a la superficie de la Tierra, lo que hace posible la vida en la Tierra. El agotamiento de la capa de ozono crea niveles más altos de radiación ultravioleta en la Tierra, poniendo en peligro a las plantas y animales (Mancera et al., 2017, pág. 78).

### ***2.2.2 Desechos sólidos municipales***

Los residuos sólidos municipales (RSU) incluyen residuos de los hogares, de los servicios públicos y privados, de la demolición, de la construcción y de las empresas comerciales y de servicios. Su establecimiento y gestión evolucionaron con la urbanización, el crecimiento económico y la industrialización. En América Latina, los residentes urbanos de la región generan aproximadamente 330.000 toneladas de residuos cada día. Si todos estos residuos fueran llevados a vertederos, se necesitarían aproximadamente 380.000 metros cúbicos de espacio cada día. En las últimas tres décadas, la cantidad de residuos per cápita en América Latina se ha duplicado y su composición ha pasado de ser principalmente orgánica a no biodegradables y voluminosos, de difícil procesamiento. Aunque se han logrado avances en materia de vertidos, estos avances se concentran principalmente en las grandes ciudades, mientras que la eliminación de residuos en las zonas rurales está menos controlada, y los residuos a menudo se vierten en campos abiertos, bordes de carreteras, barrancos y cuerpos de agua. (López & Iannacone, 2023, pág. 156).

#### ***2.2.2.1 Generación de residuos sólidos municipales***

La creciente cantidad de residuos municipales, combinada con una mala gestión, ha provocado la proliferación de vertederos incontrolados, lo que supone un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. Las poblaciones expuestas a los agentes físicos, químicos y biológicos de los residuos sólidos municipales incluyen a los trabajadores formales e informales de eliminación de residuos, a quienes viven cerca de sitios de tratamiento y eliminación, e incluso a aquellos afectados por la contaminación de cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) y aguas subterráneas. Los indicadores sobre la generación total de residuos sólidos domiciliarios per cápita indican el nivel de riesgo potencial de la generación de residuos en el país. Este indicador se tiene en cuenta en la mayoría de los indicadores de desarrollo sostenible (López & Iannacone, 2023, pág. 156).

#### *2.2.2.2 Residuos orgánicos*

Los residuos orgánicos constituyen gran parte de los residuos domésticos, industriales y agrícolas. Su acumulación en vertederos o incineradoras de residuos contribuye a la contaminación del suelo y a las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, una gestión eficaz de este material orgánico y su reciclaje puede contribuir a un planeta más sostenible fomentando una economía circular. Descubre qué son, qué tipos existen y cómo puedes convertirlos en recursos valiosos para frenar el cambio climático (Balim, et al. 2020, pág. 198).

#### *2.2.2.3 Residuos plásticos*

De acuerdo con Amar et al., (2022, pág. 78) el término plástico hace referencia a varios tipos de polímeros; materiales que consisten en moléculas orgánicas de alto peso molecular generalmente derivadas del petróleo. Sin embargo, el primer plástico desarrollado fue el celuloide, un compuesto derivado del algodón patentado por John Hight en 1865 como sustituto del marfil en la fabricación de bolas de billar. Los residuos de plástico se producen cuando el propietario tira a la basura una pieza fabricada con este material porque no le ve valor ni utilidad, una de las características más llamativas de los residuos plásticos es su longevidad.

El tiempo de descomposición depende del tipo de plástico procesado, el tamaño de los residuos y los procesos de descomposición asociados, los mecanismos de degradación pueden ser biológicos, oxidativos o foto oxidativos, entre otros, en general, el plástico tarda al menos 100 años en degradarse, aunque algunos tardan entre 500 y 1000 años, bajo ciertas condiciones (como el entierro) parecen incluso dejar de descomponerse (Amar Gil et al., 2022, pág. 96).

#### *2.2.2.4 Residuos de cartón y papel*

El papel, especialmente el cartón (excluidos productos de higiene y especiales) es un producto de desecho con gran cantidad de densidades diferentes:

- Papel: de 40 a 130 kg/m<sup>3</sup>, media 90 kg/m<sup>3</sup>
- Cartón: de 40 a 80 kg/m<sup>3</sup>, promedio 50 kg/m<sup>3</sup>

Esta cantidad, especialmente en el caso de los envases de cartón, viene determinada en gran medida por el tipo de contenedor de recogida, su equipamiento y el vehículo utilizado. Su frecuencia de producción varía dependiendo de la actividad que la genera y del nivel de consumo de productos de papel y cartón, el residuo de papel y cartón recibidos en puntos típicos de recogida municipal:

- Periódicos, revistas, anuncios, cuadernos, sobres, láminas, libros, papel de regalo, etc.
- Cajas y envases de cartón (envases de cereales, cajas de zapatos, envases de tabaco, etc.), envases de papel, hueveras de cartón, grandes paquetes de cartón, bolsas de papel, rollos de papel higiénico, etiquetas de ropa, etc., (López & Iannacone, 2023, pág. 58).

#### 2.2.2.5 *Residuos de vidrio*

Para Arbelaez et al., (2022, pág. 56) el vidrio es un material fácil de reciclar debido a sus propiedades. El envase de vidrio es 100% reciclable, lo que permite fabricar un envase nuevo con las mismas características que el primero a partir de un envase usado. Después de su recolección, se muelen hasta obtener un polvo espeso llamado calcinado y se exponen a altas temperaturas en un horno. Se derrite y se vierte en una botella, tarro, etc., de una manera que tenga exactamente las mismas propiedades que los objetos de los que provienen. Este proceso puede ahorrar muchas materias primas y energía.

Reciclar vidrio puede ahorrar mucha energía, ya que el vidrio reciclado utiliza entre un 25% y un 32% menos de energía que la producción de vidrio nuevo. La energía ahorrada al reciclar una botella puede quemar una bombilla de 100 vatios durante 4 horas. El uso de vidrio reciclado utiliza menos recursos naturales, como la arena de sílice, que debe extraerse en un proceso que consume mucha energía (Arbelaez Pérez et al. 2022, pág. 63).

#### 2.2.2.6 *Residuos de chatarra*

Según De Reciclaje, (2019, pág. 3) conocemos como chatarra a todo el metal viejo, algunas piezas de desecho tienen valor económico y pueden reciclarse si se reciclan adecuadamente, la chatarra se puede dividir en dos grandes categorías:

- Chatarra de metales ferrosos: procedente del hierro y acero.
- Chatarra de metales no ferrosos: chatarra de cobre, aluminio, estaño, plomo, zinc o níquel, las más famosas.

El reciclaje de chatarra es muy importante en la industria del reciclaje, considerando la importancia y cantidad de la chatarra: chatarras generadas en desguaces, maquinaria diversa, cableado, vehículos de transporte en desuso, así como trenes o barcos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, etc., (Solís & Abarca, 2021, pág. 65).

### **2.2.3 Manejo de residuos**

De acuerdo con Sáez y Urdaneta (2014, pág. 65) define los residuos como materiales u objetos en forma sólida o semisólida, líquida o gaseosa contenidos en recipientes o recipientes que son dispuestos por su propietario o poseedor. Depósitos; podrán ser evaluados o requerir procesamiento o disposición final conforme a las disposiciones de la misma Ley. La palabra "residuo" (derivada del vocablo latino residuum) se refiere a materiales que han perdido su utilidad después de cumplir su misión o se utilizan para realizar trabajos. Por ello, el término residuo se utiliza como sinónimo de basura, es decir, para referirse a los desechos producidos por el hombre.

#### **2.2.3.1 Residuos sólidos urbanos**

Según Doria & Ramírez, (2021, pág. 43) los residuos sólidos urbanos se refieren a los residuos generados en viviendas residenciales por la eliminación de materiales domésticos (como bienes de consumo y sus envases, envases o embalajes) o de cualquier otra actividad que se desarrolle en la ciudad. Residuos de locales domésticos o de la vía pública y residuos generados en la vía y lugares públicos, si no se consideran otros tipos de residuos.

#### **2.2.3.2 Residuos de manejo especial (RME)**

De acuerdo con Doria & Ramírez, (2021, pág. 43) los residuos de manejo especial (RME) son aquellos generados en el proceso productivo que no reúnen las características de los residuos sólidos municipales o de los residuos sólidos peligrosos o se generan en grandes cantidades. residuos de producción. Generadores de residuos sólidos municipales (Doria y Ramírez 2021, pág. 85)

### *2.2.3.3 Residuos peligrosos (RP)*

Hoy en día hay un gran número de productos químicos disponibles y, si bien han mejorado enormemente el nivel de vida de las personas, también han ejercido una enorme presión sobre el medio ambiente y la salud humana (consulte el recuadro sobre Productos químicos). Cuando muchos productos fabricados con estas sustancias o que las contienen llegan al final de su vida útil, se convierten en residuos que ponen en peligro la salud humana o dañan el medio ambiente. Estos residuos incluyen residuos peligrosos, definidos como residuos que tienen alguna propiedad, que los hace peligrosos (corrosivo, C; reactivo, R; explosivo, E; tóxico, T; inflamable, I; o biológicamente infeccioso, B) y contenedores contaminados, envases, embalajes y suelos (Sáez y Urdaneta 2014, pág. 103).

### *2.2.4 Emisiones de Dióxido de Carbono por tonelada de cemento portland ordinario producido*

Consiste en la suma de todas las emisiones. CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) producido a partir de diversas actividades durante un período de tiempo. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se cuantifican mediante la huella de CO<sub>2</sub>, que se refiere al impacto ambiental de las emisiones de dióxido de carbono (EPA 2023, pág. 3).

Produce emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto incluye el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el proyecto, organización, operación o ciclo de vida del producto o servicios, del 50% al 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, durante la producción, se producen durante la descomposición de la piedra caliza y otros materiales calcáreos para producir clínker. Es difícil reducir las emisiones asociadas a la producción de clínker porque están relacionadas con la conversión del Clíner (EPA 2023, pág. 3).

Piedra caliza, esta es la esencia del proceso, entre el 30% y el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de la quema de combustibles fósiles, principalmente para alcanzar las altas temperaturas requeridas en los hornos y equipos relacionados, como los secadores. Los

principales factores que afectan la demanda de calor son las materias primas y el proceso utilizado (seco, húmedo o intermedio) (EPA 2023, pág. 3).

El 10% restante de las emisiones de CO<sub>2</sub> proviene de la producción de electricidad necesaria para el transporte y otros procesos fabriles, consumo de molino (molino de cemento y molino de materia prima) y extracción de aire (horno/molino de materia prima y molino de cemento) la mayor parte de la electricidad en conjunto representa más del 80% del consumo eléctrico (EPA 2023, pág. 3).

#### ***Huella de carbono de producción:***

- CP – TI → Produce en promedio 0,8 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento.
- GC → Produce en promedio 0,4 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento

#### ***Huella de carbono, vida útil:***

- GC → La fórmula de Novacem, además absorbe más CO<sub>2</sub> cuando solidifica, aproximadamente 1 tonelada, por lo que su huella de carbono es negativa (-1).

#### ***Huella de carbono total:***

- CP – TI → 0,8 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento.
- GC → El cemento verde puede absorber 0,6 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cemento (Cardona et al. 2021, pág. 41).

### ***2.2.5 Composición del cemento portland ordinario***

El cemento se compone de clinker y yeso, donde la composición química y las fases del clinker le dan al cemento diferentes propiedades, propiedades como alta resistencia inicial o resistencia a los sulfatos se explican directamente por el porcentaje de fases en el cemento, así lo entiende. cuáles son las fases y cuáles son sus propiedades es importante (Pomilla et al., 2022, pág. 41).

De acuerdo con Orchesi, (2019, pág. 41) las materias primas para la producción de clinker deben contener calcio (Ca), dióxido de silicio (Si), aluminio (Al) y hierro (Fe). En las materias primas se encuentran en forma de óxidos, estos óxidos son los siguientes: óxido de calcio o cal (CaO), dióxido o silicato de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido o aluminato de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). En cuanto a la química del cemento, se utilizan abreviaturas basadas en los óxidos ya

mencionados, que se transforman en productos más complejos durante el proceso de envejecimiento. Los principales compuestos de cemento y sus abreviaturas se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2-1:** Principales compuestos del cemento

Nombre	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO-SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO-SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Fuente: (Orchesi, 2019, pág. 41).

Realizado por: Romero M., 2024.

Dado que estos compuestos no existen solos en el cemento, los llamamos fases del cemento; estas fases contienen una alta proporción de ciertos componentes y un cierto porcentaje de impurezas. Las fases cementosas son alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ), belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), diatomita o compuestos de aluminato ( $\text{C}_3\text{A}$ ) y tierra de diatomeas ( $\text{C}_4\text{AF}$ ), que son ricas en ferrita y aluminato de calcio. Cada fase confiere al cemento diferentes propiedades como se describe a continuación:

- **Alita:** Compuesta por silicato tricálcico y fase principal, ya que constituye del 50 al 70% del clinker, produce un alto calor de hidratación y es en gran medida responsable del inicio de la coagulación y de la resistencia temprana.
- **Belita:** compuesta de silicato dicálcico, que constituye del 15% al 30% del clinker, la belita tiene un calor de hidratación más bajo y una tasa de hidratación y endurecimiento más lenta en comparación con la alita, lo que contribuye a una durabilidad de 7 días.
- **Celita o compuestos de aluminato:** fase que consiste principalmente en aluminato tricálcico que produce un alto calor de hidratación. Consta de 5% a 10% de Clinker (Pompilla Cáceres et al. 2022, pág. 81)

El aluminato tricálcico reacciona con el sulfato para formar sulfoaluminato de calcio hidratado o ettringita, la ettringita siempre se forma durante la hidratación porque el yeso agregado al cemento para regular el fraguado es sulfato de calcio, y este tipo de ettringita se llama ettringita natural. Sin embargo, el cemento puede reaccionar con sulfatos externos que penetran en el cemento o se agregan más tarde y pueden formar ettringita secundaria, provocando una reacción de hinchamiento y posible agrietamiento y pérdida de resistencia. Para algunos tipos de cemento, el contenido está regulado por las razones mencionadas anteriormente (Allauca, et al. 2020, pág. 41).

### **2.2.6 Riesgos en la salud humana**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), "la contaminación del aire urbano aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias agudas como la neumonía y enfermedades crónicas como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares". La contaminación del aire nos afecta tanto a corto como a largo plazo, y a sus efectos secundarios los niños, los ancianos y los enfermos son más susceptibles. Más de 1,3 millones de personas mueren cada año por los efectos secundarios de la contaminación del aire urbano, más de la mitad de las cuales ocurren en países desarrollados, ya que las personas que viven en ciudades con altos niveles de contaminación del aire sufren más daños cardíacos, enfermedades, problemas respiratorios, cáncer de pulmón y alergias (Vandeventer y Lloveras 2021, pág. 69).

La Organización Mundial de la Salud ha desarrollado directrices sobre la calidad del aire para determinar los efectos secundarios de los problemas de contaminación en la salud calculando la concentración promedio de partículas suspendidas en el aire y determinando la reducción requerida de partículas en suspensión. Es fundamental evitar la actual tasa de mortalidad anual del 15% causada por la contaminación del aire (Vandeventer y Lloveras 2021, pág. 69).

### **2.2.7 Arcilla**

#### **2.2.7.1 Clasificación de la arcilla**

La arcilla es un depósito de suelo formado en el proceso de acumulación de minerales de desarrollo geológico en la corteza terrestre; material de grano fino con dimensiones, partículas menores de 2 micras; es decir son minerales de aluminosilicatos cristalino hidratado, que tiene propiedades plásticas, retiene suficiente agua y se endurece al secarse o al quemarse (Suquilanda Gamboa 2019, pág. 46).

#### **Según su origen**

Arcillas caolines. - el alto contenido de caolinita se conoce como residuo y por tanto es el más puro, las partículas finas, de color blanco quemado, se utilizan principalmente en la producción de cerámica, porcelana y papel ("Clasificación del Suelo," 2021, pág. 95).

Arcilla grasa. - de alto límite elástico, cremosa y de color blanco ardiente, su objetivo principal es la producción cerámica (Suquilanda, 2019, pág. 34).

Arcilla refractaria. - la composición química de estas arcillas presenta un bajo nivel de óxidos y bases metálicas, por qué pueden soportar altas temperaturas sin estropearse y por qué se utilizan, se encuentra comúnmente en la fabricación de hornos, crisoles, estufas, etc., (Suquilanda, 2019, pág. 34).

Arcillas de alfarería. - Son arcillas semirrefractarias, es decir, que pueden soportar un determinado umbral de temperatura y se utiliza en alfarería y cerámica (Suquilanda, 2019, pág. 35).

Arcilla para ladrillos y tejas. - Es el tipo de arcilla más común, de color rojo cobrizo y utilizada en la fabricación de ladrillos de construcción después del proceso de cocción (Suquilanda, 2019, pág. 35).

### **Según su composición**

Calcáreas. - La composición química de estas arcillas contiene aproximadamente un 15% de carbonato de calcio y le da a la última pieza un tinte amarillento.

No Calcáreas. - Este tipo de arcillas están compuestas principalmente por silicato de aluminio que contiene entre un 2% y un 10%, el óxido de hierro y el feldespato aparecen de color rojizo o rojo anaranjado cuando se queman (Suquilanda, 2019, pág. 34).

### **Según su capacidad de absorción de agua**

Grasas. - Este tipo de arcilla tiene una alta plasticidad y contiene una gran cantidad de extensiones también se encuentran minerales arcillosos y bajas concentraciones de arenas silíceas, contiene muchos componentes coloidales y puede absorber grandes cantidades de agua. Este tipo de fundición provoca que la arcilla sea ligera, pero es difícil moldearla debido a la fuerte adherencia de la arcilla con las articular (Suquilanda, 2019, pág. 35).

Arcilla magra: Por el contrario, este tipo de arcilla absorbe muy poca agua y es baja en plasticidad, por lo que se observa una baja contracción durante el secado junto a la abundancia de arena (Suquilanda, 2019, pág. 35).

#### *2.2.7.2 Propiedades fisicomecánicas de las arcillas*

**Plasticidad.** - La plasticidad o ductilidad es una propiedad mecánica que un material puede soportar, se deforma y vuelve a su estado original cuando se somete a tensión, cuando las tensiones superan el llamado límite, la deformación se vuelve irreversible. "La plasticidad es la

propiedad básica de los objetos de arcilla que puede formar una pasta plástica tras el impacto, o fuerza, se deforma y conserva permanentemente esta forma después de que cesa" es decir, la arcilla en su estado natural es un grupo de materiales granulares que con el agua forma una pasta homogénea que al secarse mantiene la forma especificada por el operador y la plasticidad de la arcilla depende de la composición física y química de las partículas. La unión de los coloides al agua se produce bajo la influencia de los siguientes factores:

- Composición mineral
- Tamaño y distribución de partículas.
- Opciones de cambio de iones, cationes y pH
- Tensión superficial del agua (García et al. 2022, pág. 71).

**Distribución de tamaño de partícula.** - Como señala García Marín et al., (2022, pág. 31) la distribución del tamaño de las partículas es una descripción estadística de tamaños de partículas o elementos granulares en una distribución para determinar o expresar el porcentaje de materiales de diferentes tamaños que constituye una muestra. El propósito de la distribución del tamaño de partículas es caracterizar por tamaño de partícula las presentes en muestras de materiales utilizando tamices estandarizados, numerados en orden descendente, es decir, separado de la partícula (García et al., 2022, pág. 31).

**Contracción.** - Es una propiedad de la arcilla que hace que el tamaño de la pasta moldeada disminuya debido a la pérdida de agua, es decir, la mezcla pierde cierta cantidad de agua durante el secado, provocando que el tamaño de la pieza moldeada disminuya; hay dos tipos de contracciones:

- Por aire: Esto ocurre después de la pieza colada, pero antes del secado en el horno.
- Fuego: Durante el proceso de quema, (García et al., 2022, pág. 32).

**Refractariedad.** - Se refiere a la capacidad de un material para soportar temperaturas crecientes sin dañar su estructura; Para la arcilla, la resistencia al fuego está relacionada con la cantidad de óxido de aluminio y dióxido de silicio en su composición química (García et al., 2022, pág. 33).

**Porosidad.** - La porosidad es la relación entre el volumen de los poros y el volumen total de la muestra. Depende del tamaño de partícula de la muestra de arcilla, es decir, cuanto mayor sea el tamaño de partícula de arcilla, mayor será la porosidad. La porosidad juega un papel importante

en el proceso de fabricación de ladrillos, ya que la arcilla, que está formada por pequeñas partículas, podrá adherirse más fácilmente y las piezas serán más densas (García et al., 2022, pág. 33).

### 2.2.7.3 *Composición química de las arcillas rojas*

De acuerdo con Araque, et al. (2015, pág. 184) La arcilla roja proviene principalmente del polvo volcánico. Compuesto principalmente por minerales de silicato arcilloso o mica rica en hierro. Dependiendo del grado de meteorización y del origen de la arcilla, también puede contener carbonatos, sodio y potasio. Los óxidos de hierro más comunes que se encuentran en este tipo de arcilla son la hematita, la goethita, la limonita y la ferrihidrita. Es uno de los tipos de arcilla más pesados y tiene menor absorción que otros tipos de arcilla, como la arcilla verde. Aunque tiene las mismas ventajas que otros tipos, contiene grandes cantidades de hidróxidos y óxidos de hierro, que le dan una llamativa tonalidad roja (Peña, et al. 2015, pág. 81).

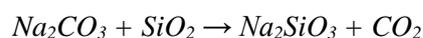
## 2.2.8 *Silicato de sodio*

### 2.2.8.1 *Silicato de sodio líquido*

El silicato de sodio líquido es una solución acuosa elaborada a partir de proporciones variables de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Dependiendo de su composición, presentan una amplia gama de propiedades físicas y químicas (Toderó et al. 2022, pág. 76). El silicato de sodio se obtiene fundiendo carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y arena de sílice especialmente seleccionada a alta temperatura. El producto resultante es un cristal amorfo (*primary glass*) que puede disolverse en un proceso especial para obtener soluciones de diversas formas (Silva, et al. 2018, pág. 65).

### 2.2.8.2 *Composición química del silicato de sodio*

De acuerdo con Silva et al. (2018, pág. 63) el meta silicato de sodio, o silicato de sodio (el nombre común del compuesto de silicato de sodio), también conocido como vidrio soluble, es una sustancia inorgánica con la fórmula química  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  que se presenta en soluciones acuosas y como sólido en muchos compuestos, incluido el cemento y los agentes impermeabilizantes, refractarios y procesos textiles. Se forma cuando el carbonato de sodio y la sílice o arena de sílice reaccionan durante aprox.  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ , formando silicato de sodio y dióxido de carbono:



### *2.2.8.3 Aplicación del silicato de sodio en construcción*

Cuando los silicatos se combinan con ingredientes del cemento, reaccionan químicamente para formar un bloque con fuertes propiedades de unión. Se fabrican una variedad de cementos a partir de silicatos, incluidos polvos y soluciones. Los silicatos son un componente importante de los morteros refractarios y químicamente resistentes auto endurecibles. Las ventajas de los silicatos solubles como aglutinantes son:

1. Resistencia a la temperatura
2. Resistencia a los ácidos
3. Fuerza del disolvente después de su uso.
4. Fácil de operar
5. Seguridad
6. Bajo costo (Silva, et al. 2018, pág. 65).

### **2.2.9 Vidrio**

De acuerdo con Borsella (2008, pág. 71), el vidrio es un material visiblemente sólido (macroscópicamente), pero también es un material quebradizo y frágil que muchas veces parece transparente a simple vista, aunque hay una gran cantidad de vidrio opaco que a veces se utiliza para aplicaciones especiales. El diseño, el color suele estar relacionado con el contenido de impurezas en su red vítrea.

Macroscópicamente, este material exhibe propiedades isotrópicas y también relajación estructural, mostrando intervalos de transición característicos entre sus estados, sus estructuras no tienen las propiedades ordenadas de los sólidos cristalinos, de hecho, tienen una estructura continua sin restricciones intercristalinas, no tiene una temperatura del líquido ni un punto de fusión bien definido. Además, tienen la propiedad de una transición reversible de un estado líquido a un estado "sólido", lo que les permite reciclarse una y otra vez, permitiendo que esta transición se produzca sin fases cristalinas en su estructura (Pilay et al. 2020, pág. 109).

#### *2.2.9.1 Tipos de vidrio*

Como se mencionó anteriormente, el tipo de fundición utilizada determinará en gran medida las propiedades del vidrio producido. Otro factor que afecta a sus propiedades es la cantidad de

material que contiene. La siguiente tabla (Tabla 2-2) muestra la descripción general de los tipos comerciales de vidrio:

**Tabla 2-2:** Composición del vidrio (los números indican el porcentaje)

Elementos	Sódico-cálcico	Plomo	Borosilicato	Sílice
Sílice	70 - 75	53 - 68	73 - 82	96
Sodio	12 - 18	5 - 10	3 - 10	
Potasio	0 - 1	1 - 10	0.4 - 1	
Calcio	5 - 14	0 - 6	0 - 1	
Plomo		15 - 40	0 - 10	
Boro			5 - 20	3
Aluminio	0.5 - 3	0 - 2	2 - 3	
Magnesio	0 - 4			

**Fuente:** (Borsella 2008, pág. 102).

**Realizado por:** Romero M., 2024.

**Vidrio sódico-cálcico.** - También conocido como vidrio soluble, está compuesto principalmente por sílice, sodio y calcio. La sílice forma parte de la materia prima básica, el sodio le confiere cierta facilidad de fusión porque reduce la cantidad de entrecruzamiento entre el oxígeno y el silicio, mientras que el calcio le confiere estabilidad química. Sin calcio, el vidrio se disuelve en contacto con el agua. Este vidrio es el más fácil de derretir y el más económico (Sánchez et al. 2020, pág. 88).

**Vidrio de plomo.** - Al igual que el sódico - cálcico, es un vidrio transparente, solo un poco más denso, lo que le confiere un índice de refracción y un índice de dispersión más altos. Generalmente es más fácil de fabricar porque tiene un punto de fusión más bajo. Tiene un coeficiente de expansión térmica muy alto, por lo que se expande fácilmente, haciéndolo menos resistente al choque térmico. Este vidrio es generalmente blando a bajas temperaturas y permanece algo maleable en un rango de temperaturas, lo que proporciona una mayor comodidad en el manejo, al vidrio de plomo también se le añade una cierta proporción de potasio, el potasio suele afectar al material y hacerlo más quebradizo, pero el plomo lo soluciona. resolvió este problema (Sánchez et al. 2020, pág. 88).

**Vidrio de borosilicato.** - Su componente principal es el óxido de boro, es efectivamente inerte, se funde a una temperatura más alta y es más difícil de procesar. Los átomos de boro están incluidos en la estructura Si-O-B. Su resistencia a los cambios bruscos de temperatura es alta. El valor de este coeficiente es 0,000005 cm/°C. Esto significa que por cada grado Celsius que

aumenta la temperatura, el vidrio se expande 0,000005 centímetros. Por ello, se utiliza en la producción de utensilios de cocina para hornos y materiales de laboratorio (que están expuestos a temperaturas relativamente altas) porque es muy resistente al calor y a los cambios bruscos de temperatura (Peralta 2015, pág. 156).

**Vidrio de sílice.** - Compuesto por un 96% de sílice, es el más duro y difícil de procesar, y requiere una costosa tecnología de vacío para producir un producto especial capaz de transmitir energía ultravioleta e infrarroja con una mínima pérdida de energía. Se trata de un material rico en bases y óxido bórico, y soluble en ácidos fuertes calientes (ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico) contiene 96% de sílice, 3% de óxido de boro y es insoluble para la fabricación del producto es calentado a 1200°C y la contracción fue de aprox. 14%. Esto significa que su tamaño se verá reducido en este porcentaje. Los poros desaparecen. Su estructura es sólida y no provoca deformaciones. Los gases contenidos en la composición se adsorben y el vidrio adquiere un aspecto completamente transparente y hermético (Peralta 2015, pág. 156).

#### 2.2.9.2 *Proceso de fabricación del vidrio*

De acuerdo con Peralta (2015, pág. 93) la formación del vidrio requiere altas temperaturas, muchas veces superiores a los 1000°C. El proceso tiene lugar en un reactor de fusión (a menudo llamado "horno" por los vidrieros), que puede alcanzar temperaturas superiores a las requeridas. Como se mencionó anteriormente, el vidrio suele estar compuesto de silicio (normalmente en forma de arcilla) y óxidos metálicos secos triturados o granulados. Estos materiales, así como los óxidos fundentes y modificadores, están prehomogeneizados para facilitar su fusión.

En el proceso de fusión, que se refiere a la transformación de un material de sólido a líquido, se forma un líquido viscoso, y cuando se alcanza la temperatura adecuada, la masa se vuelve clara y homogénea, dependiendo de los ingredientes agregados al material. Cuando el material está en estado líquido, el siguiente paso es sacarlo del horno, tras lo cual el líquido viscoso comenzará a solidificarse rápidamente debido a los cambios bruscos de temperatura, pero mientras se produce esta transición, el vidrio puede ser manipulado (Borsella 2008, pág. 164).

Los cambios bruscos de temperatura pueden hacer que las moléculas no se junten y formen una estructura cristalina, provocando la formación de vidrio. Sin embargo, cabe mencionar que, si hacemos esta transición de temperatura demasiado brusca, el efecto será que, aunque el material se haya convertido en vidrio, se romperá casi de inmediato. Por tanto, el control de la temperatura

será muy importante para evitar la cristalización o desvitrificación y en el otro extremo, provocar la rotura del propio vidrio (Sánchez et al. 2020, pág. 88).

### *2.2.9.3 Componentes químicos del vidrio sódico*

Según Choez et al. (2021, pág. 91) el vidrio de silicato sodocálcico es el tipo más común de vidrio y representa el 90% de todo el vidrio producido. El vidrio de silicato sodocálcico, o vidrio ordinario, se compone de aproximadamente un 70% de sílice (sílice), un 15% de carbonato de sodio (óxido de sodio) y un 9% de cal (óxido de calcio), así como cantidades más pequeñas de otros compuestos, utilizado como agente refinador o para control de color.

### *2.2.9.4 Materiales de construcción con vidrio triturado*

Según Bueno et al. (2013, pág. 42) los vidrios rotos se pueden utilizar como material de construcción. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la dosis, la calidad de los materiales utilizados, las normas aplicables, etc. no están documentadas, algunos usos son:

- Se utiliza como alternativa a la arena para lijar pintura.
- Mezclado como base o subrasante para la construcción de carreteras.
- Mezclado con asfalto para pavimento.
- Se utiliza para crear filtros de agua lentos que reemplazan la arena.
- Como agregado en concreto para reemplazar el agregado fino.
- Como material para la protección de tuberías de alcantarillado.
- Como sustituto de materiales de construcción como tejas y adoquines.

Otros usos importantes del vidrio triturado como material de construcción a decir de Choez et al. (2021, pág. 64) son los siguientes:

- a) Suelos, pavimentos y rellenos.
- b) Vidrio como material puzolánico
- c) Como agregado del hormigón
- d) Como material suplementario

En el caso de los bloques y su utilización ha estado basada fundamentalmente en sustituir el porcentaje de arena en la mezcla, de acuerdo con Bueno et al. (2013, pág. 43) se sustituye ente 25; 50 y 75% de la arena por vidrio triturado, dejando como resultado que la resistencia media a la

compresión aumenta directamente proporcional al tiempo, excepto para el 25% de vidrio. Los bloques fabricados con el 75% de vidrio son los de mejor relación a la resistencia, alcanzando la mínima requerida a los 14 días, superando de esta manera a la muestra del patrón y los valores normalizados a los 28 días (Pilay et al. 2020, pág. 56).

### 2.2.10 Ladrillo

Como lo describen Gavilánez (2023, p. 64) un ladrillo es un elemento de construcción civil hecho de pasta de arcilla cocida, con forma de rectángulo extruido y de tamaño para ser manipulado con una sola mano. Generalmente se utiliza para la construcción de muros.

#### 2.2.10.1 Propiedades del ladrillo

De acuerdo con Afanador, et al. (2012, pág. 41) las propiedades de los ladrillos utilizados en la construcción son resistencia a la presión, dimensiones uniformes y apariencia estética y se clasifican en los siguiente:

- **Textura:** La textura del ladrillo es fina, densa y uniforme. No debe haber grietas, huecos, arena suelta ni cal sin quemar;
- **Robustez:** la prueba de durabilidad se realiza mediante la aplicación directa de fuerza con un martillo u otro objeto similar, que debe producir un sonido metálico;
- **Dureza:** el elemento estructural no debe deformarse al aplicar fuerza con los dedos o las manos;
- **Resistencia:** la tensión de compresión debe ser superior a 3,5 N/mm<sup>2</sup>. Las pruebas empíricas de campo para medir la resistencia implican dejar caer un ladrillo desde una altura de 90 a 100 cm sobre una superficie dura el mismo no debe romperse al caer;
- **Absorción de agua:** Si un ladrillo se sumerge en agua durante 24 horas, su absorción de agua debe ser inferior al 20% de su peso;
- **Tensión de rotura:** superior a 10 N/mm<sup>2</sup>;
- **Floración:** No deben aparecer manchas blancas cuando se sumerge el ladrillo en agua. Si esto ocurre es por la presencia de sulfato de calcio, magnesio y potasio;
- **Conductividad térmica:** La conductividad térmica es baja, lo que hace que el edificio sea cálido en invierno y fresco en verano;
- **Aislamiento acústico:** el ladrillo debe poder aislar los sonidos externos;
- **Resistencia al fuego:** el ladrillo debe soportar altas temperaturas (Afanador et al. 2012, pág. 41).

### 2.2.10.2 Tipos de ladrillos

*Ladrillo Cocido de arcilla.* - Es el ladrillo más utilizado en la construcción civil, tiene forma de paralelepípedo y está totalmente hecho a mano. Es duradero y tiene un acabado rústico. Tiene baja resistencia y es ideal para levantar muros en viviendas y edificios. Está hecho de adobe secado al sol para mejorar la resistencia al calor. Este tipo de ladrillo se utiliza en estructuras formadas por columnas de hormigón armado (Indahningrum et al. 2020, pág. 51).

*Ladrillos porosos.* - Este tipo de ladrillo presenta perforaciones verticales en al menos un 10% de su superficie. El propósito de las perforaciones es aumentar la resistencia del ladrillo, ya que se coloca en forma de huecos para inyectar la mezcla de concreto en los orificios y aumentar la resistencia (Somoza et al. 2022, pág. 74).

*Ladrillos perforados al canto.* - A diferencia del ladrillo perforado o poroso, este tipo de ladrillo tiene perforaciones horizontales, que están orientadas para reducir el peso del ladrillo sin reducir su resistencia. Se utiliza principalmente para la construcción de paredes y habitaciones que no necesitan soportar grandes fuerzas externas (Somoza et al. 2022, pág. 74).

*ladrillo visto.* - Es otro tipo de ladrillo macizo, es decir, no tiene perforaciones de ningún tipo y por tanto tiene alta resistencia al agua y a bajas temperaturas. Los ladrillos vistos tienen un atractivo estético distintivo y tienen una superficie más lisa en comparación con los ladrillos de arcilla cocida. Otra característica de este ladrillo es que no requiere mantenimiento, lo que lo convierte en una de las mejores opciones para la construcción (Indahningrum et al. 2020, pág. 51).

*Ladrillos refractarios.* - Los ladrillos refractarios tienen una textura suave y uniforme y están hechos del mismo material que otros ladrillos, pero en diferentes proporciones. Su resistencia al calor lo hace ideal para lugares donde los incendios y las altas temperaturas son habituales, como estufas, chimeneas y calderas (Indahningrum et al. 2020, pág. 51).

*Ladrillos decorativos.* - Los ladrillos decorativos son similares al ladrillo visto en que se utilizan para revestir superficies y además son muy resistentes al agua y a las bajas temperaturas. Se utiliza principalmente en exteriores como patios, terrazas, jardines e incluso espacios públicos como parques y plazas (Somoza et al. 2022, pág. 74).

### 2.2.10.3 Normativas del ladrillo del país

Los ladrillos cerámicos del Ecuador deben tener en consideración las siguientes normativas:

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 293:1977-05 Ladrillos cerámicos-Definiciones, Clasificación y Condiciones Generales**

Esta normativa da a conocer las definiciones, condiciones y clasificación de los ladrillos cerámicos empleados en construcción u obras civiles. La materia prima para la elaboración de los ladrillos debe contener un moderado o alto índice de plasticidad, el cual es óptimo para su utilización donde tendrá menos probabilidades de rupturas o deformaciones. Según la normativa mencionada, la temperatura mínima es de 800°C además de tener un color rojizo y emitan un sonido similar al metal.

En la construcción de obras civiles de acuerdo con el sistema de coordinación modular, se tomará en cuenta lo establecido por la NTE INEN 317. Dentro del contexto que no se emplee la coordinación modular de la construcción, se evaluará las medidas de la tabla 2.3.

**Tabla 2-3:** Tolerancias y resistencias de los ladrillos

<b>Tipo de ladrillo</b>	<b>Largo (L)</b>	<b>Ancho (a)</b>	<b>Alto (h)</b>
Común de máquina	39	19	9
	39	19	9
	29	14	9
Reprensado	29	19	9
	29	14	9
	29	19	19
Hueco	29	19	14
	29	19	9

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 297:1977.

**Realizado por:** Romero M., 2024.

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 297:1997-05 Ladrillos cerámicos: requisitos**

La presente norma tiene como finalidad determinar los valores de resistencia, flexión y absorción que se deben emplear en los ladrillos cerámicos para obras civiles. Basado en la NTE INEN 293:1977-05, creada de conformidad con el Reglamento INEN 297:1977-05, tiene como objetivo formular los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos utilizados en la construcción,

los cuales se dividen en dos categorías: ladrillos macizos y ladrillos huecos. Los ladrillos se dividen en A, B y categoría C, los ladrillos huecos se dividen en categorías D, E y F (Peralta 2018, pág. 156).

**Tabla 2-4:** Tipo de ladrillos macizos

<b>Ladrillos macizos:</b> ladrillos fabricados a mano o a máquina sin perforaciones internas o con perforaciones de celdas alveolares hasta el 20% de su volumen.		
<b>Tipo A</b>	Será de un color rojizo uniforme y apagado, con ángulos y bordes rectos. No habrá manchas, desgaste, quemaduras ni astillas visibles en su superficie y bordes	
<b>Tipo B</b>	Está fabricado a máquina, de color rojo, con ángulos y bordes rectos, y se diferencia del tipo A en que su superficie exterior puede tener defectos menores y la rectitud de los bordes puede variar hasta 5 mm.	
<b>Tipo C</b>	Es similar al tipo B, excepto que también se puede fabricar a mano y tiene defectos en su superficie exterior y diferencias de rectitud de los bordes de hasta 8 mm.	

Fuente: (Somoza al. 2022, pág. 75).

Realizado por: Romero M., 2024.

**Tabla 2-5:** Tipo de ladrillos huecos

<b>Ladrillos huecos:</b> Los ladrillos huecos son ladrillos con agujeros longitudinales en su interior. El volumen total de huecos debe ser igual o superior al 70% del volumen total de ladrillos.		
<b>Tipo D</b>	Se utilizarán ladrillos tipo D para el relleno de muros de carga, tabiques de estancias no portantes y losas de hormigón aligerado.	
<b>Tipo E</b>	El uso de ladrillos tipo E se limita a la construcción de tabiques no soportados y al relleno de losas ligeras de hormigón armado.	
<b>Tipo F</b>	Los ladrillos tipo F se utilizan únicamente para el relleno de losas ligeras de hormigón armado.	

Fuente: (Somoza al. 2022, pág. 75).

Realizado por: Romero M., 2024.

**Tabla 2-6:** Requisitos de resistencia mecánica de ladrillos cerámicos

TIPO DE LADRILLO	Resistencia mínima a la compresión Mpa*		Resistencia mínima a la flexión Mpa*	Absorción máxima de humedad (%)
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
<b>Tipo A</b>	25	20	4	16
<b>Tipo B</b>	16	14	3	18
<b>Tipo C</b>	8	6	2	25
<b>Tipo D</b>	6	5	4	16
<b>Tipo E</b>	4	4	3	18
<b>Tipo F</b>	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 297:1977.

**Realizado por:** Romero M., 2024.

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 317, 1997 Coordinación Modular de la Construcción, Dimensiones Modulares de Ladrillos Cerámicos**

Esta norma define las dimensiones de los módulos de baldosas cerámicas utilizadas en mampostería y está destinada a su uso en sistemas modulares de coordinación de edificios, se aplica a ladrillos creados a máquina o a mano. Esta norma establece que, previo acuerdo especial entre el fabricante y el comprador, también se podrán producir baldosas cerámicas de diversas medidas, en base a las siguientes proporciones:

- Para el largo: 2M; 3M y 5M.
- Para el ancho: 1M; 1,5 M; 2M; 2.5M y 3M.
- Para el espesor: 1M; 1,5 M y 2M.12

**Tabla 2-7:** Dimensiones modulares normales de ladrillos cerámicos

Largo	Ancho	Espesor	Largo	Ancho	Espesor
2M	1M	1M	20 cm	10 cm	10 cm
3M	1.5M	1M	30 cm	15 cm	10 cm
4M	2M	1M	40 cm	20 cm	10 cm

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 297:1977.

#### 2.2.10.4 Ventajas y desventajas del ladrillo ecológico en comparación de ladrillo comercial

##### ***Ventajas del ladrillo ecológico en comparación de ladrillo comercial***

- ***Reducción del impacto ambiental:*** consumen menos energía, utilizan menos recursos naturales, producen menos emisiones de CO<sub>2</sub> y evitan el uso de materiales contaminantes.
- ***Aislamiento térmico:*** en general, aportan un mayor nivel de protección térmica y acústica que los ladrillos tradicionales.
- ***Estética:*** Son una opción estética más apropiada para determinados estilos arquitectónicos, como las estructuras campestres, ya que aportan un aspecto más natural.
- ***Económico:*** Los costos de producción son más económicos con materiales de desecho y métodos de producción artesanales (Roberto et al. 2018, pág. 147)

##### ***Desventajas del ladrillo ecológico en comparación de ladrillo comercial***

- ***Variedad decorativa limitada:*** debido a su reciente entrada al mercado, las opciones decorativas de los eco ladrillos son más limitadas que las de los ladrillos tradicionales (Roberto et al. 2018, pág. 148).

#### 2.2.10.5 Proceso de producción de ladrillos artesanales

La producción de ladrillos y su calidad depende directamente de las propiedades de la arcilla, las empresas productoras de piedra arcillosa existentes en el Ecuador utilizan procesos de producción manuales, es decir, los métodos de procesamiento y producción se basan empíricamente en la experiencia de los artesanos (García et al. 2015, pág. 76).

##### ***Recolección de la materia prima.***

La primera etapa de la producción de ladrillos implica la extracción de arcilla cruda de las canteras utilizando herramientas manuales o maquinaria; Los depósitos de arcilla suelen ubicarse al pie de montañas o cerca de ríos (García et al. 2015, pág. 76).



**Ilustración 2-1:** Extracción de arcilla roja

Fuente: (Peralta 2018, pág. 69).

### *Purificación de la arcilla roja*

El refinamiento, purificación o maduración de la arcilla es una serie de procesos como molienda, homogeneización y exposición al aire libre para lograr una mezcla de productos arcillosos de suficiente consistencia y homogeneidad en términos de propiedades físicas y químicas. Este proceso se realiza principalmente durante la época de lluvias, cuando se produce arcilla y alto contenido de humedad, además, el permanecer al aire libre puede disolver bloques de arcilla o tierra, así como descomponer la materia orgánica (García et al. 2015, pág. 77).



**Ilustración 2-2:** Purificación de la arcilla roja

Fuente: (Peralta 2018, pág. 70).

### *Amasado*

La masa se amasa al aire libre sobre una superficie plana, colocando arcilla y arenas limosa y utilizando herramientas manuales como picos y palas para formar la masa; este proceso puede tardar varias horas (García et al. 2015, pág. 77).



**Ilustración 2-3:** Amasado

Fuente: (Peralta 2018, pág. 70).

### *Moldeado*

La fundición o moldeado consiste en darle forma a la pasta de arcilla, en la producción artesanal se vierte la mezcla en bandejas o moldes y luego se prensan las partículas (García et al. 2015, pág. 78).



**Ilustración 2-4:** Amasado

Fuente: (Peralta 2018, pág. 70)

### *Secado*

El secado se refiere a la pérdida de agua de la pasta, el proceso comienza con un pre-secado en el mismo sitio de fundición para que la pieza pierda humedad y pueda ser operada. El secado se realiza en dos etapas:

- En la primera etapa, el secado se produce de forma rápida y continua, porque la humedad de la arcilla se evapora al aire y el agua del interior asciende por acción capilar, En esta etapa existe alta compactación de la pasta.
- Los granos cerámicos ya están comprimidos en la segunda etapa, por lo que la diferencia en la contracción de la pieza de trabajo no es grande (García et al. 2015, pág. 78).



**Ilustración 2-5:** Secado

Fuente: (Peralta 2018, pág. 70).

### *Cocción*

La cocción es el proceso final en la producción de ladrillos; Las piezas fundidas se exponen durante mucho tiempo a temperaturas de entre 900 y 1200 grados centígrados en un horno cerrado utilizando madera y aserrín como materiales de combustión. La cocción de arcilla confiere a los ladrillos propiedades físicas y químicas como color, dureza y resistencia. Después de la cocción, los ladrillos se vuelven insolubles en agua y pierden la plasticidad de la arcilla en su estado natural (García et al. 2015, pág. 78).



**Ilustración 2-6:** Cocción

Fuente: (Peralta 2018, pág. 70).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Descripción de los procesos

##### 3.1.1 Diagrama de flujo de proceso de obtención de ladrillos ecológico

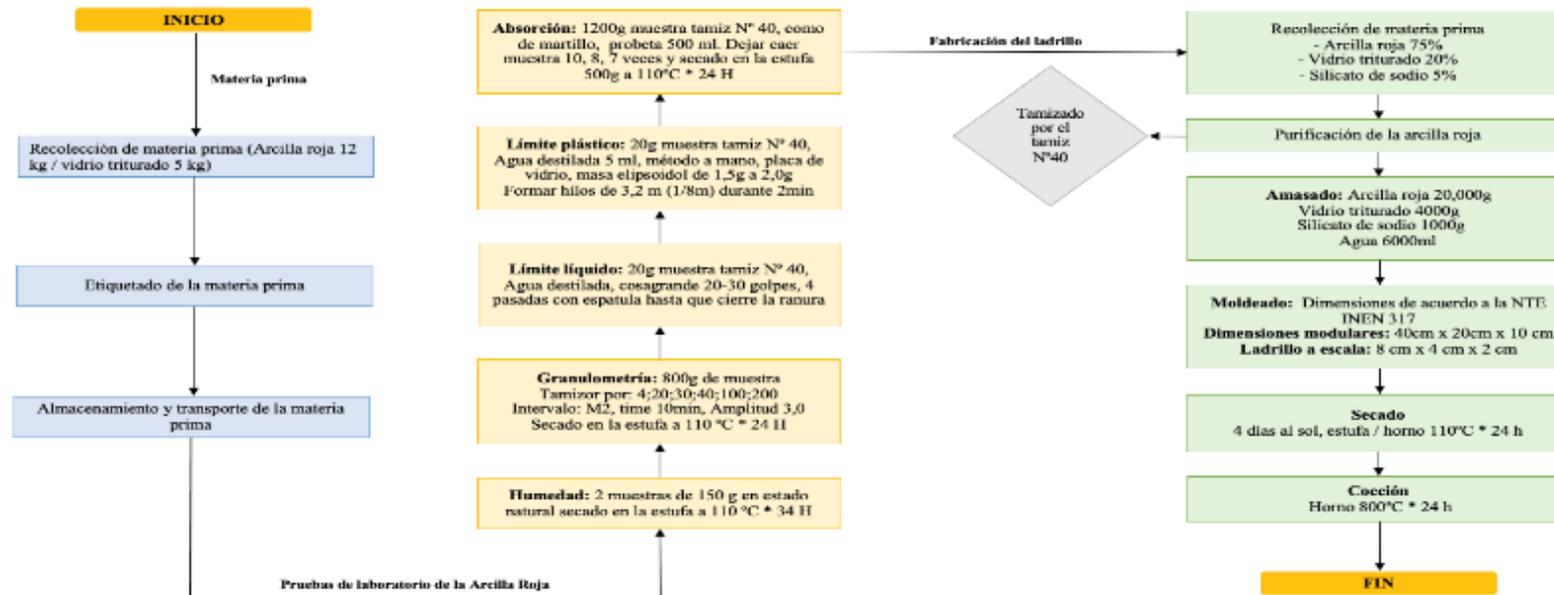


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo.

Realizado por: Romero M., 2024.

### 3.2 Materiales

**Tabla 3-1:** Etiquetado de muestra de la arcilla roja

<b>Materiales empleados</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fundas plásticas ziploc</li><li>• Bandeja de aluminio</li><li>• Espátula</li><li>• Placa de vidrio</li><li>• Cepillo de acero</li><li>• Brocha</li></ul>
<b>Equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pala</li><li>• Sistema de georreferenciación (Mis coordenadas GPS)</li><li>• Balanza (Ohaus)</li><li>• Estufa (memmet)</li><li>• Crisol de porcelana</li><li>• Copa casagrande (Controls)</li><li>• Cono de martillo</li><li>• Termómetro</li><li>• Probeta 500 ml</li><li>• Tamizador (Endecotts)</li><li>• Tamices en acero inoxidable (Endecotts)</li><li>• Microscopio</li><li>• Caja Petri</li></ul>
<b>Reactivos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Silicato de sodio</li></ul>

Realizado por: Romero M., 2024.

### 3.3 Normas

Para la fabricación de ladrillos ecológicos se debe seguir una serie de normativas impuestas por el estado ecuatoriano, dentro de las cuales se tomara en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoria INEN 293:1977 el cual determina la clasificación que dará forma al ladrillo, además la Normativa Técnica Ecuatoria INEN 317,1997 contribuyo a dimensionar el largo, ancho y espesor de los ladrillos ecológicos, asimismo se tomaron en cuenta las siguientes normas para cumplir con lo establecido referente a los requisitos de resistencia mecánica de ladrillos: la Normativa Técnica Ecuatoria 294 estipula la resistencia de comprensión de los ladrillos en base a la clasificación seleccionada, de la misma forma la Normativa Técnica Ecuatoria 295 define la resistencia de flexión y la Normativa Técnica Ecuatoria 296 define la absorción máxima de humedad de los ladrillos cerámicos.

### **3.3.1 Enfoque**

Los métodos utilizados comprenden un enfoque mixto, es decir, un método cuantitativo para medir los valores de las diversas propiedades de los materiales compuestos, con el fin de caracterizar estos materiales según su potencial de uso en la producción de ladrillos ecológicos, análisis de laboratorio de propiedades físicas y mecánicas como son la humedad, límite líquido, límite plástico, absorción y granulometría de la arcilla roja, además de valorar la resistencia mecánica de los ladrillos cerámicos, muestras que se utilizará un método cualitativo para observar y describir el área de estudio empleado.

### **3.4 Alcance**

Esta investigación busca elaborar un ladrillo ecológico sin utilización de cemento portland ordinario para reducir los contaminantes emitidos por las industrias ladrilleras como es el dióxido de carbono, además de utilizar el vidrio para la elaboración del producto con el fin de impulsar la economía circular, a partir de ello la investigación se realizó en los meses de noviembre de 2023 hasta febrero de 2024. El estudio de la fabricación de ladrillos ecológicos va a estar dentro de la provincia de Morona Santiago en el cantón Morona parroquia Macas, en las cuales se realizó un monitoreo para la recolección de la arcilla roja en la parroquia Río Blanco en el sector de Timbiana, es por ello que los parámetros físicos (Humedad, absorción) y mecánicos (Límite líquido, límite plástico, granulometría) se llevaron a cabo en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Morona Santiago y en el Gobierno Autónomo Descentralizado de Morona Santiago, tomando en cuenta que se consideró documentación con bases científicas para su respectiva ejecución.

### **3.5 Diseño**

El estudio cuenta con un diseño experimental descriptivo, el cual tiene como finalidad analizar de forma objetiva la conducta de las variables y relatar minuciosamente sin intervenir de forma directa para su mayor comprensión, además de contar con un diseño de grupos independientes, que alude a la comparación de los análisis de resultados de las metodologías (resistencia a la comprensión, absorción de humedad) elaboradas en el trabajo de investigación, con el objetivo de determinar discrepancias significativas proporcionando información referente a la eficacia del grupo con resultados óptimos.

### 3.6 Nivel de investigación

El estudio fue de carácter descriptivo y correlacional, es decir, una metodología descriptiva que pretende contribuir al campo de la ciencia mediante la presentación y demostración de la fabricación de ladrillos ecológicos con materiales compuestos sin la utilización de cemento portland ordinario, además de brindar una alternativa para promover el reciclaje del vidrio desechado en la producción de los ladrillos, mientras que se utilizó una metodología correlacional para determinar la dosificación adecuada de los materiales compuestos, se realizó el análisis de los parámetros físicos y mecánicos de las arcillas rojas con el propósito de conocer la conducta y características de las variables durante un cierto periodo de tiempo.

### 3.7 Métodos

#### 3.7.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de Morona Santiago en el cantón Morona parroquia Río Blanco sector Timbiana, en donde se seleccionó el punto para la recolección de la muestra para la fabricación de ladrillos ecológicos, en base a lo recomendado por el propietario del terreno debido a que se dedicaba a la fabricación de ladrillos cerámicos.

Para el posicionamiento geográfico se utilizó la aplicación llamada Sistema de georreferenciación (Mis coordenadas GPS), el área de muestreo cuenta con una extensión de 3189.50 metros cuadrados.



**Ilustración 3-2:** Mapa de ubicación del área de estudio, Río Blanco, sector Timbiana

**Realizado por:** Romero M., 2024.

Una vez conocido el mapa de ubicación del área de estudio se seleccionó las siguientes coordenadas geospaciales:

**Tabla 3-2:** Coordenadas de la selección del punto de muestreo

Punto de muestreo	Coordenada longitud (x)	Coordenada latitud (y)
Punto de muestreo 1 (PM1)	W 78°9'30.25836"	S 2°22'9.87348"

Realizado por: Romero M., 2024.



**Ilustración 3-3:** Punto de muestreo del área de estudio, Río Blanco, sector Timbiana

Realizado por: Romero M., 2024.

### 3.7.2 Recolección de la materia prima para realizar los análisis de laboratorio

Es crucial destacar que, en el proceso de recolección de la muestra, se tomó medidas precautorias referente al clima, con el fin de minimizar la distorsión de los resultados en la obtención de la muestra para su posterior uso. En este sentido con ayuda de una pala y pico se ejecutó un corte en V en el suelo con una profundidad de cincuenta centímetros, seguidamente de ello se recopiló 12 kg de arcilla roja resguardándolo en fundas plásticas ziploc para su uso en las pruebas de laboratorio y fabricación del ladrillo ecológico.

### 3.7.3 *Etiquetado de la materia prima*

El etiquetado de muestras facilitó al investigador proporcionar información referente al nombre de la institución, ubicación, tipo de muestreo, coordenadas del sitio de muestreo, profundidad, fecha y hora de recolección de la muestra, el cual se ve reflejado en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Etiquetado de muestra de la arcilla roja

<b>Etiquetado de muestra</b>	
Nombre de la institución	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ubicación del proyecto	Provincia de Morona Santiago, cantón Morona, parroquia Rio Blanco sector Timbiana
Tipo de muestreo	Aleatorio sistemático
Coordenadas del sitio de muestreo	Longitud W 78°9'30.25836" : Latitud S 2°22'9.87348" de las Coordenadas UTM WGS 84
Profundidad	0 – 0.5 m
Fecha	21/10/2023
Hora	17:05 pm

**Realizado por:** Romero M., 2024.

### 3.7.4 *Almacenamiento y transporte de la materia prima*

Para salvaguardar un análisis puntual es fundamental transportar cuidadosamente las muestras de suelo al laboratorio de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, el manejo cuidadoso conserva la integridad de la muestra eludiendo factores externos que podrían afectar los resultados del producto, es por ello que las muestras se trasladaron en fundas plásticas ziploc herméticamente etiquetadas y selladas respecto a lo recolectado en el sector Timbiana para posteriormente realizar las pruebas físicas y mecánicas en el laboratorio de las instituciones ya mencionadas.

### 3.7.5 Pruebas de laboratorio físicas y mecánicas

#### 3.7.5.1 Pruebas físicas

##### *Humedad*

El análisis de humedad se determina de manera cuantitativa a partir de la muestra de arcilla roja seleccionada en su condición primaria. La metodología utilizada para el ensayo fue la siguiente:

- Seleccionar dos muestras de 150g cada una obtenidas del punto de monitoreo señalado para la recolección de arcilla roja.
- Fragmentar las dos muestras de arcilla roja con la mano.
- Con ayuda de una balanza pesar las muestras escogidas en estado primitivo, para posteriormente ubicarlas en bandejas de aluminio.
- Ubicar las muestras previamente pesadas en la estufa a 110 °C durante el tiempo de 34 horas.
- Seguidamente pesar las muestras al abandonar la estufa.
- Finalmente, cuantificar el porcentaje de humedad tomando como referencia la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

$\%H$ : porcentaje de humedad

$P_h$ : peso húmedo o peso en estado natural

$P_s$ : peso seco despues de la estufa

$P_t$ : peso del tarro o bandeja

##### *Absorción*

El análisis de absorción se determina de manera cuantitativa, es decir, este parámetro nos ayuda a precisar la capacidad de absorción del suelo arcilloso, el cual tiene como objetivo retener los líquidos de modo homogénea hasta alcanzar un estado manejable por la adición del fluido. La metodología utilizada para el ensayo fue la siguiente:

- En una bandeja de aluminio descomponer 1200g de arcilla roja para posteriormente depositar una generosa cantidad de agua que cubra completamente la mezcla y dejarlo empapar por 24 horas.
- Posteriormente el sobrante de agua agregado a la muestra de arcilla roja se retira, tras eso se coloca en una superficie plana para eliminar la humedad.
- Una vez que la muestra esté libre de humedad, con ayuda del equipo cono de acero se agrega dos puñados y medio para posteriormente dejar caer el martillo 10 veces; así mismo se realizó el procedimiento de manera análoga dejando caer el martillo 8 veces; por último, se añade al cono de acero la muestra hasta completar la capacidad de instrumento y se deja caer el martillo 7 veces.
- Llevado a cabo los pasos mencionados con anterioridad, se retira el cono de acero y se deja caer la muestra en la bandeja para su respectivo uso.
- Medir 500g de muestra con ayuda de una balanza, con el fin de luego introducirlo a la estufa a 110 °C durante un periodo de 24 horas.
- Medir 500g de muestra con ayuda de una balanza, luego ubicar la arcilla valorada en una probeta.
- Seguidamente incorporar agua en la probeta y mezclar hasta descartar la posibilidad de existencia de aire en el procedimiento.
- Finalmente, pesar la muestra de arcilla y cuantificar el porcentaje de absorción en base a la siguiente ecuación:

$$\%Absorción = \frac{A - B}{B} * 100$$

Donde:

% Absorción: porcentaje de absorción

A: peso en el aire de la muestra al horno

B: volumen de la probeta

### 3.7.5.2 Pruebas mecánicas

#### *Granulometría*

El análisis de granulometría se emplea para determinar la clasificación de dimensionamiento de las partículas del suelo. La metodología utilizada para el ensayo fue la siguiente:

- Seleccionar 500g de la muestra obtenida del punto de monitoreo señalado para la recolección de arcilla roja.
- Posteriormente con ayuda del equipo tamizador la malla N° 200 tamizar el material obteniendo como resultado un elemento fino.
- Ubicar las muestras previamente pesadas en la estufa a 110 °C durante el tiempo de 24 horas.
- Una vez que se dispersó la humedad de la arcilla, se procedió a tamizar con los tamices: 4, 20, 30, 40, 100, 200.
- Seguidamente se distribuye de forma organizada, disponiéndolo desde la partícula con mayor tamaño hasta la menor, además de pesar los montos conservados en los tamices en una balanza.
- Finalmente cuantificar el porcentaje retenido en base a la siguiente ecuación:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso acumulado en cada tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

Donde:

*%Retenido*: porcentaje retenido

#### *Límite líquido*

El análisis de límite líquido se determina de forma cuantitativa y cualitativa con el fin de precisar la destreza de absorción de la arcilla roja, es decir, pasar de un estado plástico a líquido. La metodología utilizada para el ensayo fue la siguiente:

- Escoger 20g de la muestra cernido por el tamiz N° 40 y situar en un plato hondo, en donde se pueda manejar cómodamente la mezcla.
- A continuación, incorporar de 15 a 20 mililitros de agua purificada o destilada hasta alcanzar una combinación uniforme.
- Seguido de ello salvaguardar la mezcla en un envase al vacío correctamente sellado y resguardarlo por un periodo de 24 horas, a continuación, verificar la precisión del equipo copa de Casagrande y situar la mezcla en el instrumento.
- Posicionar la mezcla uniformizada en el equipo, luego realizar 4 pasada con la espátula separando la mezcla en dos partes, inmediatamente después girar la manilla ejecutando entre 20 a 30 golpes hasta que se unifique la mezcla de arcilla.

- Con ayuda de los complementos del instrumento determinar de forma cualitativa la unión de forma concisa al momento de ejecutar los golpes con la manilla, finalmente cuantificar el porcentaje de límite líquido en base a la siguiente ecuación:

$$\%L_l^n = W^n * \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \text{ o } L_l^n = k * W^n$$

Donde:

$\%L_l^n$ : límite líquido dado en porcentaje

$W^n$ : contenido de agua dado en porcentaje

$N$ : número de golpes dado en porcentaje

$k$ : factor de límite líquido

#### *Límite plástico*

El análisis de límite plástico e índice de plasticidad se determinó a partir del sobrante del ensayo de límite plástico con la finalidad de estimar la distorsión del suelo arcilloso. La metodología utilizada para el ensayo fue la siguiente:

- Elegir 20g de la muestra restante tamizado por el tamiz N.º 40, posteriormente con las manos con ayuda de una placa de vidrio formar una masa elipsoidal de 1,5g a 2,0g formando hilos de 3,2mm (1/8 in) durante un periodo de 2 minutos.
- Finalmente cuantificar el porcentaje de límite plástico en base a la siguiente ecuación:

$$\%L_p = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

$\%L_p$ : porcentaje de límite plástico

$P_h$ : peso húmedo de la muestra

$P_s$ : peso seco de la muestra

$P_t$ : peso del tarro o bandeja

- El índice de plasticidad se emplea la siguiente ecuación en la cual se expresa una resta entre los límites anteriormente mencionados:

$$\%I_p = L_l - L_p$$

Donde:

$\%I_p$ : porcentaje de índice de plasticidad

$L_l$ : límite líquido

$L_p$ : límite plástico

### **3.7.6 Fabricación de ladrillos ecológicos**

#### *3.7.6.1 Recolección de la materia prima*

Para la selección de los materiales compuestos para la elaboración del producto se tomó en cuenta: arcilla roja, vidrio triturado, silicato de sodio, recolectado de la siguiente manera:

- *Arcilla roja*: adquirido en la provincia de Morona Santiago cantón Morona parroquia Río Blanco sector Timbiana en cual se puede observar en la Ilustración 3-3.
- *Vidrio triturado*: recopilado de las botellas desechadas de todo tipo en los diferentes lugares de la parroquia Macas.
- *Silicato de sodio*: a causa de la falta de disponibilidad del reactivo en el lugar de estancia, se compró en la ciudad de Quito-Ecuador, respaldando la adquisición del ladrillo ecológico.

#### *3.7.6.2 Purificación de la materia prima*

En un principio se obtiene la arcilla roja del sector Timbiana para posteriormente depurarla con la finalidad de erradicar partículas no deseadas (piedras, insectos, ramas) en la muestra obtenida, luego, fragmentarla y tamizarla alcanzando un tamaño de partículas semejantes. Por otra parte, para la adquisición del vidrio triturado a las botellas se le retira las etiquetas con el propósito de tener una mezcla limpia sin alterar la composición del producto final.

#### *3.7.6.3 Dosificación y amasado*

Para la dosificación de los ladrillos ecológicos se tomó en cuenta la muestra cernida por el tamiz N.º 40, tomando en cuenta las concentraciones de 75% arcilla roja, 20% vidrio triturado, 5%

silicato de sodio, además que se adiciono agua conforme la mezcla de los ladrillos ecológicos sea óptima.

Por otra parte, en el amasado de la mezcla se agregó los materiales en un recipiente para su correcta unificación con ayuda de una espátula dando giros de forma constante, posteriormente la mezcla se debe dejar reposar 24 horas con el objetivo de efectuar la Normativa de índice de plasticidad AASHTO T87.

**Tabla 3-4:** Dosificación de los materiales compuestos para los ladrillos ecológicos

<b>Materiales compuestos</b>	<b>Dosificación</b>
Arcilla roja	20,000 g
Vidrio triturado	4000 g
Silicato de sodio	1000 g
Agua	6000 ml (6000 g)
<b>Total</b>	<b>31,020 g</b>

Realizado por: Romero M., 2024.

#### 3.7.6.4 Moldeado

Se dimensiono de acuerdo con la Normativa Técnica ecuatoriana 317 propuesta en la Tabla 3-4, en el cual se consideró las siguientes medidas 40cm x 20cm x 10cm a partir de ello se dimensionó a escala para mayor facilidad donde se tomó en cuenta 1:5 correspondiente a las siguientes medidas 8cm x 4cm x 2cm, por otra parte, la Normativa Técnica Ecuatoriana 308 designado como Módulo básico en donde menciona que un decímetro está interpretado por la inicial M que es igual a 10cm.

Se consideró para el proceso de moldeado de los ladrillos ecológicos, remojar la moldura por un periodo de 24 horas, posterior a ello se revistió las paredes con ceniza con la finalidad de que el producto no se adhiera al molde.

**Tabla 3-5:** Dimensiones modulares normales de los ladrillos cerámicos

<b>Largo(M)</b>	<b>Ancho(M)</b>	<b>Espesor(M)</b>	<b>Largo(cm)</b>	<b>Ancho(cm)</b>	<b>Espesor(cm)</b>
2 M	1 M	1 M	20 cm	10 cm	10 cm
3 M	1,5 M	1 M	30 cm	15 cm	10 cm
4 M	2 M	1 M	40 cm	20 cm	10 cm
5 M	2,5 M	2 M	50 cm	25 cm	20 cm

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 317, 1997, pág. 1.

Realizado por: Romero M., 2024.

**Tabla 3-6:** Dimensiones a escala de los ladrillos ecológicos

	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Espesor (cm)</b>
<b>Dimensiones modulares</b>	40 cm	20 cm	10 cm
<b>Dimensiones a escala</b>	8 cm	4 cm	2 cm

Realizado por: Romero M., 2024.

#### 3.7.6.5 *Secado*

Los ladrillos ecológicos deben secarse a espacio abierto preferiblemente en un clima soleado para que el porcentaje de humedad se elimine en su totalidad con la finalidad de introducirlo al horno el cual se divide en dos etapas:

- Etapa 1: ladrillos ecológicos en un clima soleado durante un lapso de tiempo de 4 días aproximadamente.
- Etapa 2: introducción de los ladrillos ecológicos a la estufa a una temperatura de 800°C a lo largo de un lapso de 24 horas con el objetivo de extinguir la humedad que puso haber llegado a acumular, previniendo lesiones o rupturas en el producto.

#### 3.7.6.6 *Cocción*

La cocción de los ladrillos se llevó a cabo en la estufa del laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago a una temperatura de 800 °C durante un tiempo de 24 horas, una vez realizado lo mencionado se procedió a dejar en reposo a temperatura ambiente por un periodo de 5 días.

### 3.7.7 *Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos*

#### 3.7.7.1 *Resistencia mínima a la compresión*

Las pruebas de resistencia se realizaron en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, en el cual se colocaron las probetas de los ladrillos en una superficie plana y en el centro de la rótula tomando en cuenta que las pruebas deben ejecutarse con menor dimensión. En base a la normativa, la fuerza se aplica a distintas velocidades, por otra

parte, la carga restante se implementa de forma gradual, tomando en cuenta que el tiempo oscila entre un minuto y no superior a dos minutos.

La resistencia a la comprensión se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

$C$ : resistencia a la comprensión ( $MPa$ )

$P$ : carga impuesta en la probeta ( $N$ )

$A$ : área sobre la que actúa la fuerza ( $m^2$ )

### 3.7.7.2 Absorción máxima de humedad (%)

De acuerdo con la Normativa Técnica ecuatoriana 292 menciona que se deben realizar pruebas con cinco probetas, los cuales deben ser la mitad de los ladrillos realizados con sus superficies planas y paralelas. Por consiguiente, los ladrillos ecológicos son inmersos en el líquido vital con una temperatura de 15 o 30 °C por un periodo de 24 horas, ejecutado el procedimiento mencionado se procede a retirar el ladrillo del agua y se deja reposar por 5 minutos, de forma inmediata se secó con una toalla y con ayuda de una balanza se pesó cada probeta.

El porcentaje de absorción máxima de humedad se expresa de la siguiente manera:

$$\%Absorción = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Donde:

$\%Absorción$ : porcentaje de absorción

$P_1$ : peso de la probeta deshidratada

$P_2$ : peso de la probeta tras haber sido remojada por un lapso de tiempo de 24 horas.

### **3.8 Técnicas e instrumentos de investigación empleadas**

#### **3.8.1 Pruebas de laboratorio físicas y mecánicas**

- Para la resolución del porcentaje de humedad se tomó en cuenta el procedimiento de la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 690, en el cual, se utilizó la estufa (110 °C:34 horas) perteneciente al laboratorio de la institución ESPOCH Sede Morona Santiago.
- De acuerdo con los estándares establecidos de absorción de suelos, se contempló la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 856, donde con ayuda del instrumento cono de martillo se realizó la practica correspondiente verificando la idoneidad de agregados finos para la elaboración de los ladrillos ecológicos.
- Con el propósito de determinar el porcentaje retenido en los tamices referente a granulometría, se consideró la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 696:2011 donde se trabajó juntamente con el tamizador para obtener los resultados correspondientes al ensayo.
- Encaminada a resolver el parámetro de límite líquido se estimó la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 691 1982-05, en el cual se empleó el instrumento de laboratorio de la institución Casagrande con la finalidad de determinar la cantidad óptima de agua para la fabricación de ladrillos ecológicos.
- Con el fin de conocer el límite plástico de la arcilla se pondero la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 692-05, a fin de tener conocimiento respecto a la plasticidad que tiene el material compuesto.

#### **3.8.2 Fabricación de los ladrillos ecológicos**

En primer lugar, se recolecto la materia prima correspondiente, posterior a ello se tamizo la arcilla roja con ayuda del tamiz N.º 40 con el propósito de eliminar impurezas. Para la elaboración del ladrillo se tomó en cuenta los resultados de los parámetros del laboratorio físicas y mecánicas en cuanto a la dosificación, sumando a ello el amasado se ejecutó de forma circular para homogenizar todos los materiales compuestos. Así mismo en el moldeado se estipulo una medida a escala en base a la normativa correspondiente, además de que el secado se realizó en un clima soleado durante 4 días, para finalmente cocerlo a una temperatura de 800 °C a 1300 °C en la estufa del laboratorio de la institución.

### **3.8.3 *Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos***

- La resistencia mínima de comprensión se ejecutó de acuerdo con la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 294 con ayuda de la máquina de ensayo de comprensión, cumpliendo con lo establecido por la normativa ya mencionada.
- Para el porcentaje de absorción máxima de humedad de los ladrillos se consideró la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 296, en donde se sumergió el producto en agua en un lapso de 24 horas, a fin de acatar lo decretado por la norma considerada.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas físicas

##### 4.1.1 Resultados de humedad

De acuerdo con el método de prueba estándar (ASTM D2216), para el análisis de la humedad de la arcilla roja con la que se realizó el ladrillo ecológico, se tomó en cuenta dos muestras del punto de ubicación considerado, los cuales fueron calculados con la ecuación correspondiente en el que se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4-1:** Porcentaje de humedad natural de la muestra de arcilla roja

<b>Humedad natural de la arcilla</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Peso húmedo (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso recipiente (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Muestra 1	186,40 g	166,00 g	27,40 g	14,72 %
Muestra 2	179,20 g	155,80 g	27,60 g	18,25 %
<b>Promedio</b>				<b>16,49 %</b>

Realizado por: Romero M., 2024.

El contenido de humedad natural de la muestra inicial se dividió en dos submuestras, dando como resultado en la Muestra 1 un porcentaje de humedad de 14,72%, esto se debe a las variaciones climáticas presentes en el área donde se recolectó la materia prima, por otra parte, en la Muestra 2 se observó una proporción de 18,25% comprendiendo que al momento de la recolección del insumo se vio involucrado de igual forma las condiciones ambientes. Dando como resultado final un promedio de 16,49% tomando en cuenta que en ambas muestras se contempló desequilibrios ambientales, diferentes manifestaciones de aire, almacenamiento y transporte de las muestra o factores humanos (manipulación de la arcilla).

##### 4.1.2 Absorción

En cuanto al parámetro de absorción del suelo se ponderó el procedimiento de la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 856, los cuales se cuantificaron mediante la ecuación mencionada con anterioridad obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-2:** Porcentaje de humedad natural de la muestra de arcilla roja

<b>Absorción de la arcilla roja</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Peso del tarro (g)</b>	<b>Peso húmedo (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Absorción (%)</b>
Muestra 1	27,70 g	500 g	494,20 g	<b>4,63 %</b>

Realizado por: Romero M., 2024.

El porcentaje de absorción de la muestra 1 correspondiente a 4,63%, establece que la infiltración regulada de la arcilla introducida al horno cumple con los criterios de la normativa respecto a áridos finos, es por ello que se deduce que el resultado obtenido es óptimo para la ejecución de ladrillos ecológicos.

## 4.2 Pruebas mecánicas

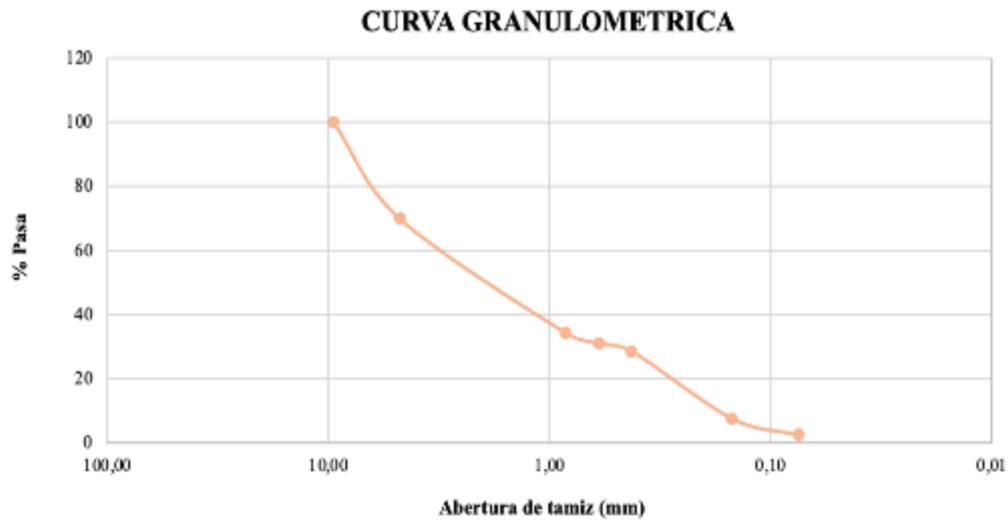
### 4.2.1 Granulometría

Fundamentado en el método de prueba estándar (ASTM D422), para el análisis granulométrico de la arcilla roja se tomó en cuenta una muestra de 800 g para su respectivo análisis, con el propósito de conocer la dispersión del tamaño de la materia prima fundamental para comprender su conducta en procesos para la construcción de los ladrillos ecológicos, es por ello que se realizaron los respectivos cálculos de acuerdo a la ecuación mencionada con anterioridad y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4-3:** Repartimiento granulométrico de arcilla roja

<b>Granulometría de la arcilla</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido parcial (g)</b>	<b>Peso retenido acumulado</b>	<b>Porcentaje retenido (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9,50 mm	0 g	0	0	100 %
4	4,75 mm	240,58 g	240,58 g	30,07 %	69,93 %
20	0,85 mm	286,62 g	527,20 g	65,53 %	34,47 %
30	0,6 mm	23,80 g	551,00 g	68,88 %	31,12 %
40	0,425 mm	19,90 g	570,90 g	71,36 %	28,64 %
100	0,15 mm	167,34 g	738,24 g	92,28 %	7,72 %
200	0,075 mm	41,61 g	779,85 g	97,48 %	2,52 %
<b>P200 (Base)</b>		12,03 g	20,15 g	2,52 %	
<b>TOTAL</b>	800,00 g	800,00 g			

Realizado por: Romero M., 2024.



**Ilustración 4-1:** Repartimiento granulométrico de arcilla roja

**Realizado por:** Romero M., 2024.

De acuerdo con el análisis granulométrico de la arcilla se determinó que la curva granulométrica está separada por tres divisiones similares referente al tamaño de las partículas de la materia prima; el 100% y 69,93% corresponde a fragmentos grandes, asimismo el 34,47% a 28,64% concierne a porciones medianas, de igual modo los datos de 7,72% y 2,52% pertenecen a partículas pequeñas. Finalmente se puede deducir que los fragmentos medianos y partículas finas tienen una textura que propicia la retención del agua siendo óptimos para la fabricación de ladrillos ecológicos.

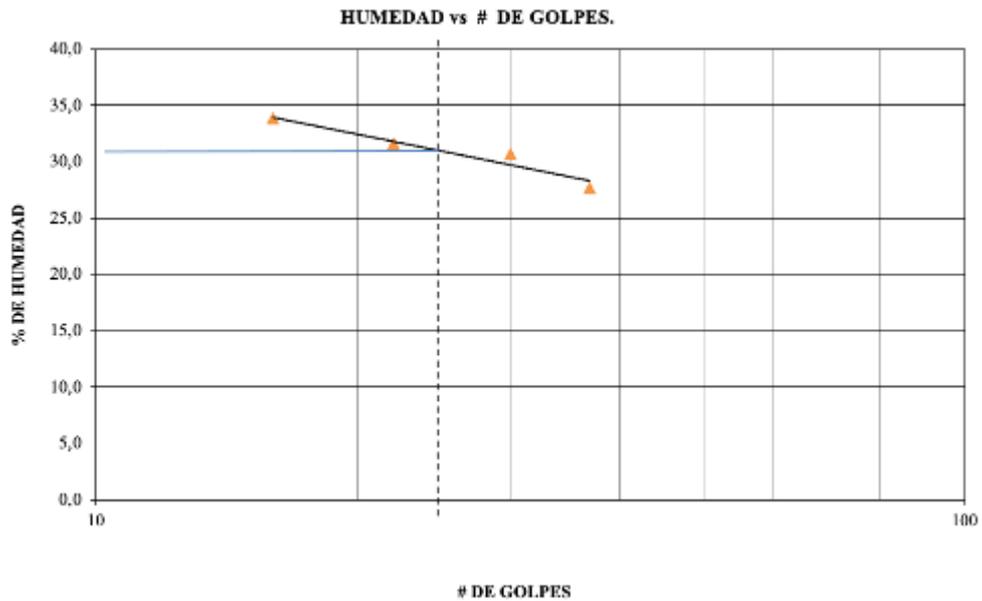
#### **4.2.2 Límite Atterberg de la arcilla roja**

Con el fin de analizar Límite Atterberg constituido por: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los cuales son bajo el método de prueba estándar (ASTM D4318), tiene como objetivo conocer el comportamiento de las arcillas respecto a la retención de humedad, a partir de ello se realizaron los respectivos cálculos de acuerdo con la ecuación mencionada con anterioridad y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4-4:** Límite líquido de la arcilla roja

Límite líquido de la arcilla					
Muestra	Número de golpes	Peso del recipiente (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	16	28,03 g	49,40 g	44,00 g	33,81 %
Muestra 2	37	28,02 g	47,40 g	43,20 g	27,67 %
Muestra 3	30	26,61 g	42,80 g	39,00 g	30,67 %
Muestra 4	22	27,03 g	46,20 g	41,60 g	31,57 %
<b>Promedio</b>					<b>30,93 %</b>

Realizado por: Romero M., 2024.



**Ilustración 4-2:** Porcentaje de humedad vs número de golpes de la arcilla roja

Realizado por: Romero M., 2024.

En base a la información obtenida referente a la relación entre humedad y plasticidad del suelo, se puede deducir que en la escala logarítmica se registró un intervalo de 25 golpes el cual nos dio un resultado de 32,1% de humedad, por lo tanto, se determina que el rendimiento de la arcilla es óptimo para la fabricación de ladrillos, dado que al aumentar de forma cuidadosa la humedad incrementa la plasticidad de la arcilla.

**Tabla 4-5:** Límite plástico de la arcilla roja

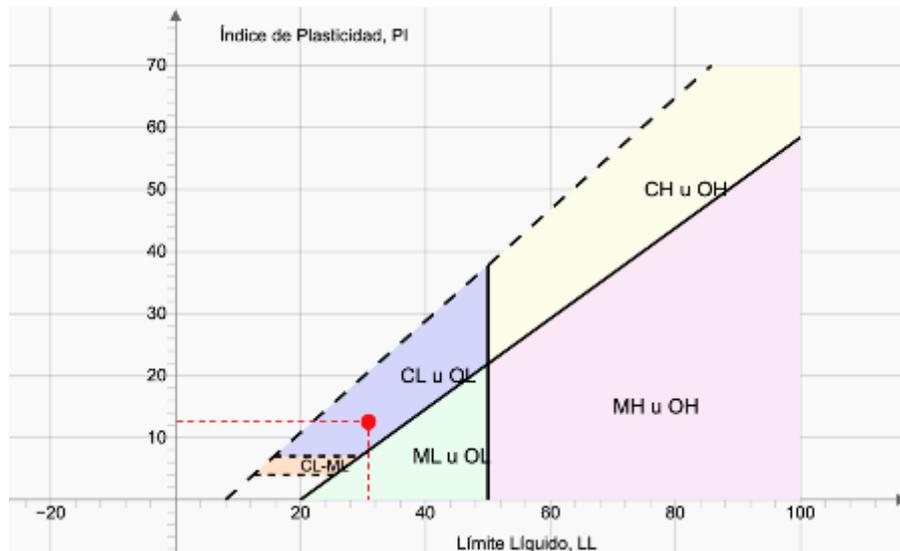
Límite plástico de la arcilla				
Muestra	Peso del recipiente (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	10,61 g	19,00 g	18,02 g	13,23 %
Muestra 2	10,57 g	14,80 g	14,00 g	23,32 %
<b>Promedio</b>				<b>18,27 %</b>

Realizado por: Romero M., 2024.

**Tabla 4-6:** Carta del Índice de plasticidad de la arcilla roja

Carta del Índice de plasticidad	
Clasificación Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.)	CL u OL
Humedad natural de la arcilla roja	16,49 %
Límite líquido de la arcilla roja	30,93 %
Límite plástico de la arcilla roja	18,27 %
Índice de plasticidad de la arcilla roja	12,66

Realizado por: Romero M., 2024.



**Ilustración 4-3:** Carta de plasticidad de la arcilla roja

Realizado por: Romero M., 2024.

En el análisis gráfico de la carta de plasticidad de la arcilla, infiere que con un límite líquido de 30,93 y límite plástico de 18,27 los valores muestran una clasificación de acuerdo al (S.U.C.S) conocida como suelos de partículas finas, es decir, que la mayor parte del material atraviesa por la malla N.º 200, a partir de ello se evidencia una subclasificación correspondiente a limos y

arcillas (CL) el cual representa que la arcilla es inorgánica, de mínima a moderada plasticidad, debido a que el límite líquido dentro de esta clasificación es menor a 50, partiendo de ello el índice de plasticidad es de 12,66 indicando el total de arcilla presente el cual representa una plasticidad moderada adecuada para la fabricación del ladrillo ecológico.

### 4.3 Resultados de los ladrillos ecológicos

#### 4.3.1 Porcentaje de absorción máxima de humedad

Transcurrido el periodo de 24 horas desde que se sumergieron los ladrillos ecológicos al agua, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4-7:** Resultados del porcentaje máximo de humedad de los ladrillos ecológicos

Porcentaje absorción máxima de humedad ladrillos ecológicos					
Muestra	Peso inicial en seco (g)	Peso final posterior a 24 horas (g)	Absorción máxima de humedad INEN 296 (%)	Absorción de humedad de los ladrillos ecológicos (%)	Cumple/No cumple
Probeta 1	116,17 g	139,27 g	25 %	19,88 %	Cumple
Probeta 2	113,95 g	136,51 g	25 %	19,79 %	Cumple
Probeta 3	111,12 g	133,31 g	25 %	19,96 %	Cumple
Probeta 4	119,25 g	143,10 g	25 %	20,00 %	Cumple
Probeta 5	115,48 g	138,69 g	25 %	20,09 %	Cumple

Realizado por: Romero M., 2024.

De acuerdo a la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 296, estipula que el porcentaje de absorción máxima de humedad de ladrillos macizos tipo C, no debe ser superior a 25%, tomando en cuenta el porcentaje establecido se constata que todas las probetas cumplen satisfactoriamente los criterios establecidos siendo aptos para la fabricación de ladrillos ecológicos y eficientes para obras civiles.

**Tabla 4-8:** Resultados del porcentaje máximo de humedad de los ladrillos comerciales

<b>Porcentaje absorción máxima de humedad ladrillos comerciales</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Peso inicial en seco (g)</b>	<b>Peso final posterior a 24 horas (g)</b>	<b>Absorción máxima de humedad INEN 296 (%)</b>	<b>Absorción de humedad ladrillos comerciales (%)</b>	<b>Cumple/No cumple</b>
Probeta 1	88,00 g	111,99 g	25 %	27,26 %	No cumple
Probeta 2	91,00 g	114,77 g	25 %	26,12 %	No cumple
Probeta 3	98,00 g	122,09 g	25 %	24,58 %	Cumple
Probeta 4	100,00 g	125,96 g	25 %	25,96 %	No cumple
Probeta 5	102,00 g	127,94 g	25 %	25,43 %	No cumple

Realizado por: Romero M., 2024.

Conforme la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 296, estipula que el porcentaje de absorción máxima de humedad de ladrillos macizos tipo C, no debe ser superior a 25%, tomando en cuenta el porcentaje establecido se evidencio que la probeta 3 alcanza el nivel deseado, mientras que las demás probetas registraron valores superiores a 25% el cual no es favorable para las obras civiles.

#### **4.3.2 Resistencia mínima a la compresión**

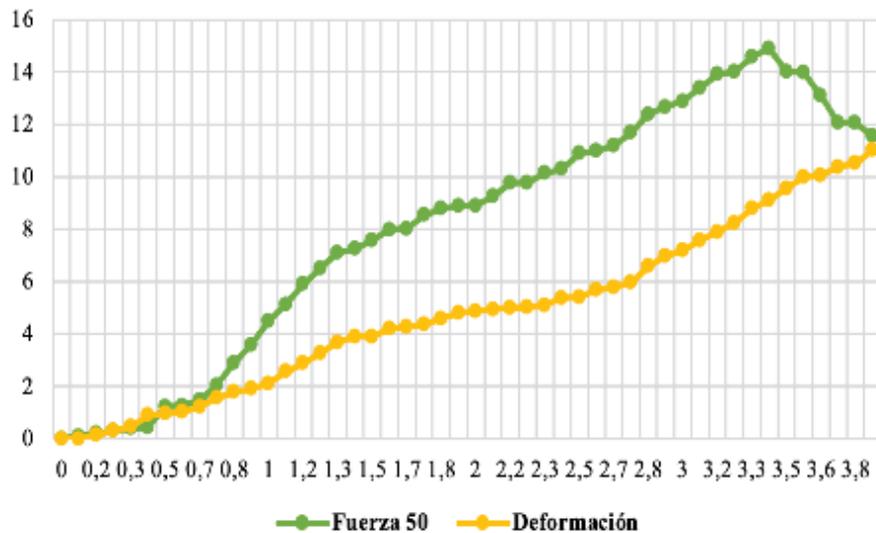
La resistencia de compresión de los ladrillos ecológicos se realizó en el laboratorio de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, en la máquina de ensayo de compresión donde se determinó el punto de deformación de las probetas de los ladrillos ecológicos, donde se registraron los siguientes resultados:

**Tabla 4-9:** Resultados de referencia de resistencia mínima de compresión de los ladrillos ecológicos crudos

Muestra	Dimensiones ladrillo		Área cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos crudos kN/cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos crudos (Mpa)	Resistencia mínima individual (Mpa) INEN 294	Cumple/No cumple
	Largo (cm)	Ancho (cm)					
Probeta 1	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	14,02 kN/cm <sup>2</sup>	4,40 MPa	6 MPa	No cumple
Probeta 2	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	8,91 kN/cm <sup>2</sup>	2,70 MPa	6 MPa	No cumple
Probeta 3	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	13,25 kN/cm <sup>2</sup>	4,10 MPa	6 MPa	No cumple

Realizado por: Romero M., 2024.

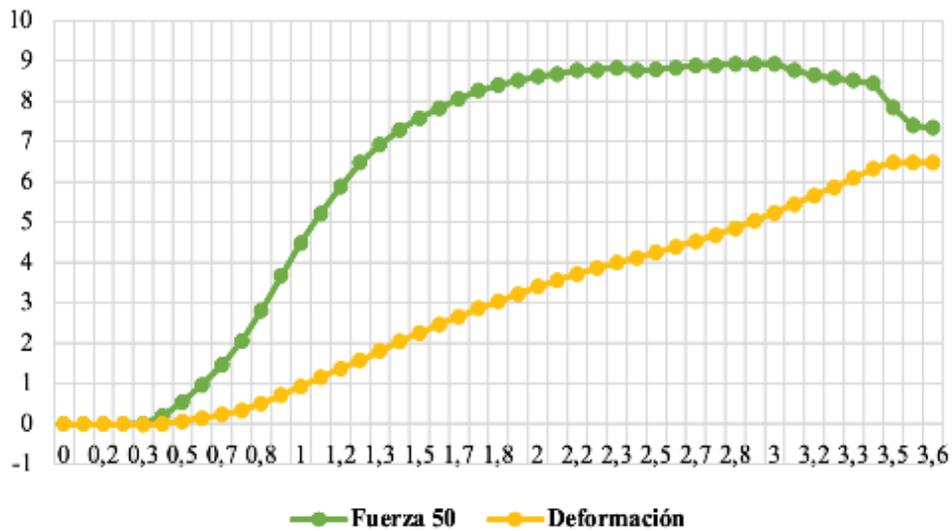
**Resistencia mínima de compresión - Probeta 1**



**Ilustración 4-4:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 1

Realizado por: Romero M., 2024.

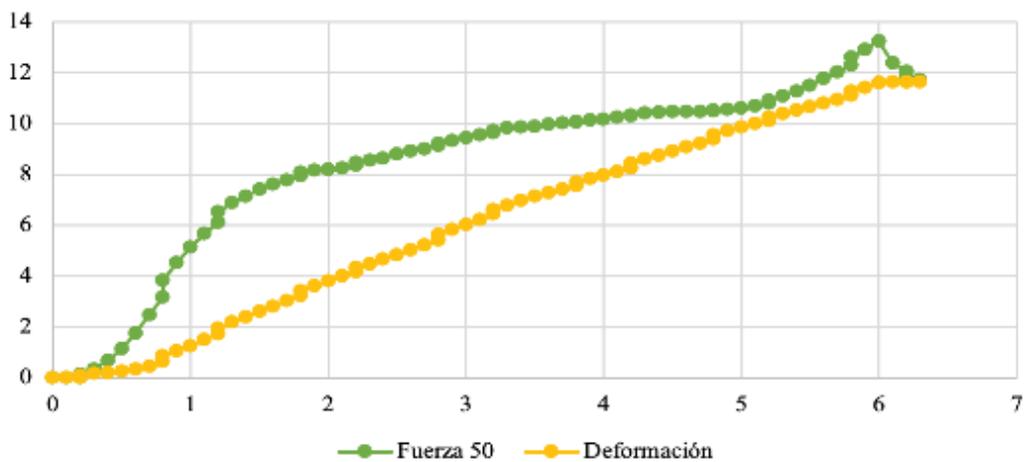
### Resistencia mínima de compresión - Probeta 2



**Ilustración 4-5:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 2

Realizado por: Romero M., 2024.

### Resistencia mínima de compresión - Probeta 3



**Ilustración 4-6:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos crudos – Probeta 3

Realizado por: Romero M., 2024.

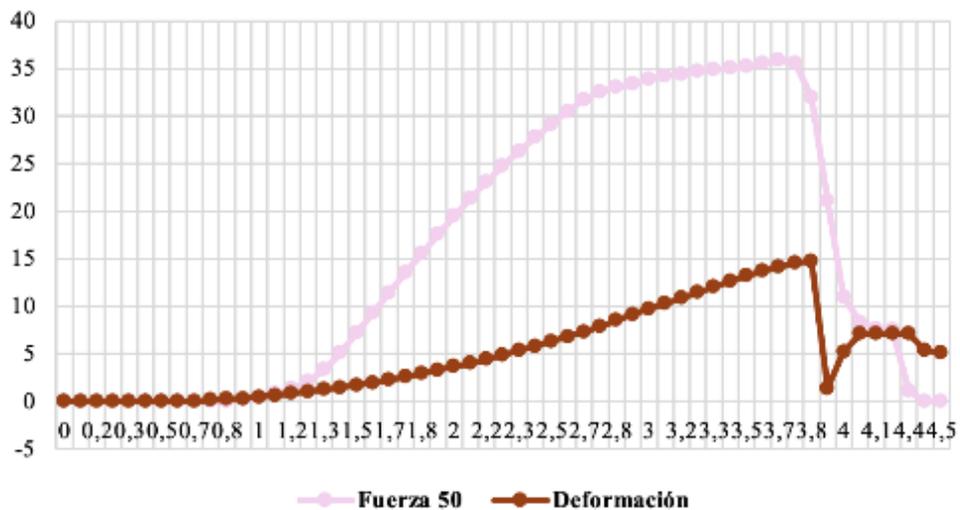
Según la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 294, menciona que los ladrillos macizos tipo C deben tener una resistencia mínima individual de 6 MPa, teniendo en cuenta lo instituido se catalogó que todas las probetas de ladrillos ecológicos crudos o no cocidos no cumple con lo estipulado por la normativa siendo su valor más bajo de 2,7 MPa y el más alto de 4,4 MPa , es por lo que no se recomienda utilizarlos para las obras civiles

**Tabla 4-10:** Resultados de resistencia mínima de compresión de los ladrillos ecológicos cocidos

Muestra	Dimensiones ladrillo		Área cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos ecológicos kN/cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos ecológicos (Mpa)	Resistencia mínima individual (Mpa) INEN 294	Cumple/No cumple
	Largo (cm)	Ancho (cm)					
Probeta 1	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	35,86 kN/cm <sup>2</sup>	11,20 MPa	6 MPa	Cumple
Probeta 2	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	36,00 kN/cm <sup>2</sup>	11,30 MPa	6 MPa	Cumple
Probeta 3	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	23,46 kN/cm <sup>2</sup>	7,30 MPa	6 MPa	Cumple
Probeta 4	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	31,56 kN/cm <sup>2</sup>	9,80 MPa	6 MPa	Cumple
Probeta 5	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	26,28 kN/cm <sup>2</sup>	8,20 MPa	6 MPa	Cumple

Realizado por: Romero M., 2024.

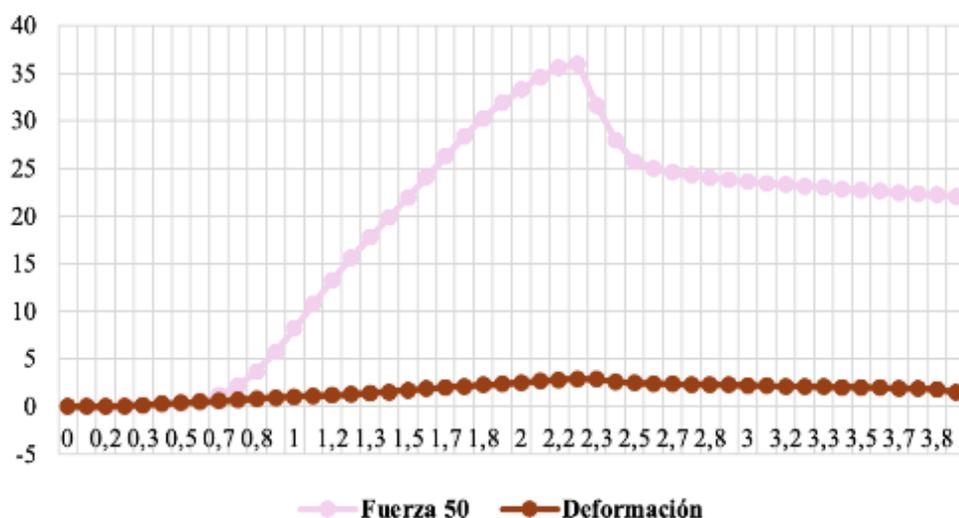
**Resistencia mínima de compresión - Probeta 1**



**Ilustración 4-7:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 1

Realizado por: Romero M., 2024.

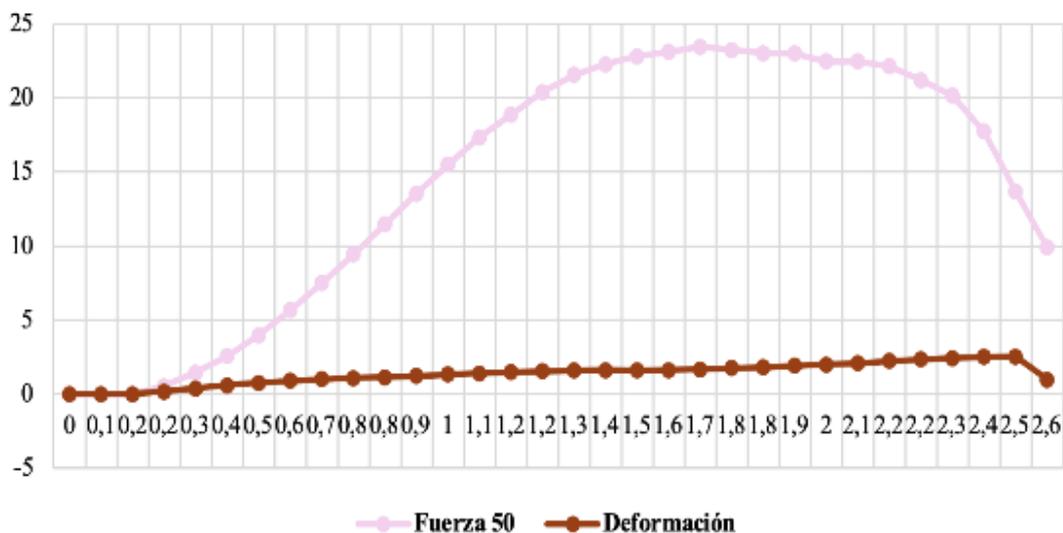
### Resistencia mínima de compresión - Probeta 2



**Ilustración 4-8.** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 2

Realizado por: Romero M., 2024.

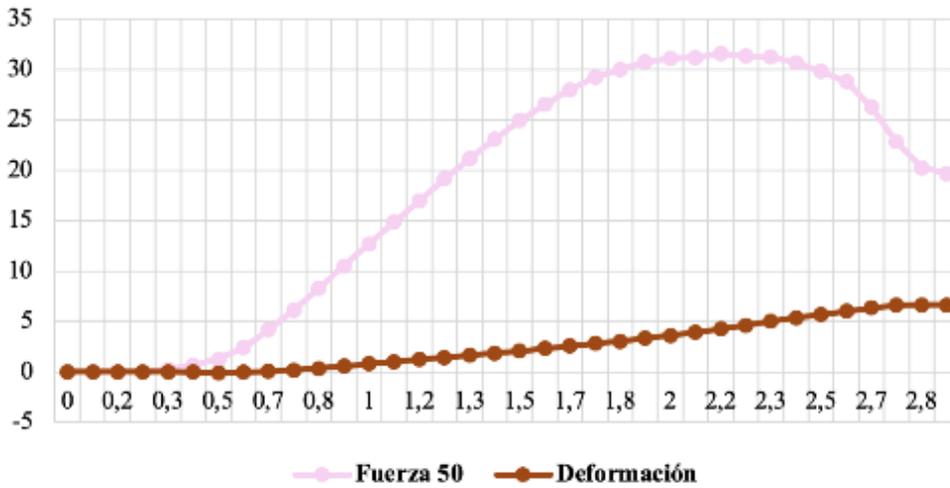
### Resistencia mínima de compresión - Probeta 3



**Ilustración 4-9:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 3

Realizado por: Romero M., 2024.

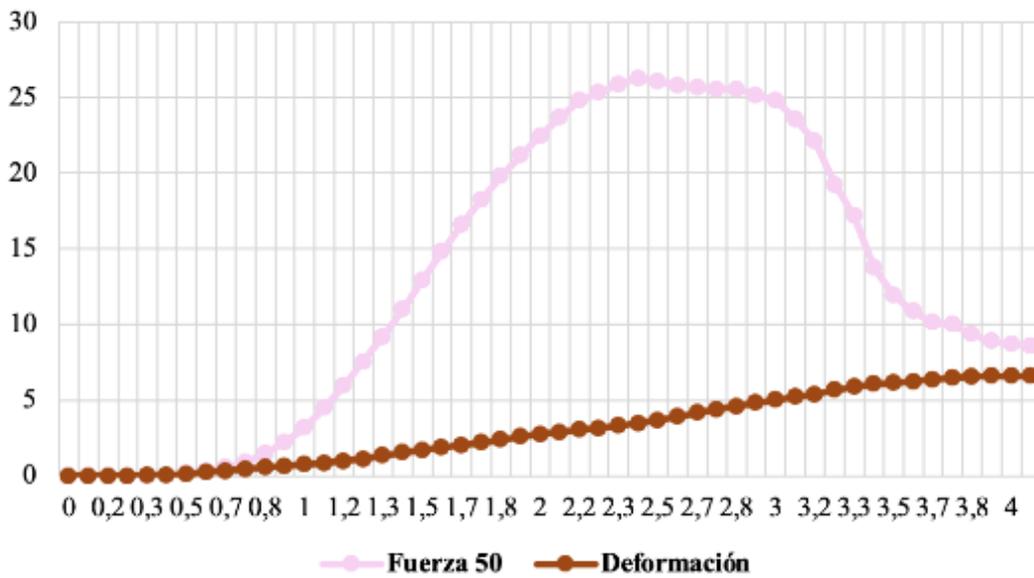
### Resistencia mínima de compresión - Probeta 4



**Ilustración 4-10:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 4

Realizado por: Romero M., 2024.

### Resistencia mínima de compresión - Probeta 5



**Ilustración 4-11:** Resistencia mínima de compresión ladrillos ecológicos cocidos – Probeta 5

Realizado por: Romero M., 2024.

De acuerdo con la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 294, menciona que los ladrillos macizos tipo C deben tener una resistencia mínima individual de 6 MPa, considerando lo prescrito se registró que todas las probetas de los ladrillos ecológicos cocidos cumplen con lo determinado por la normativa, alcanzando su valor mayor de 36,00 kN/cm<sup>2</sup> y el valor más bajo de 23,46

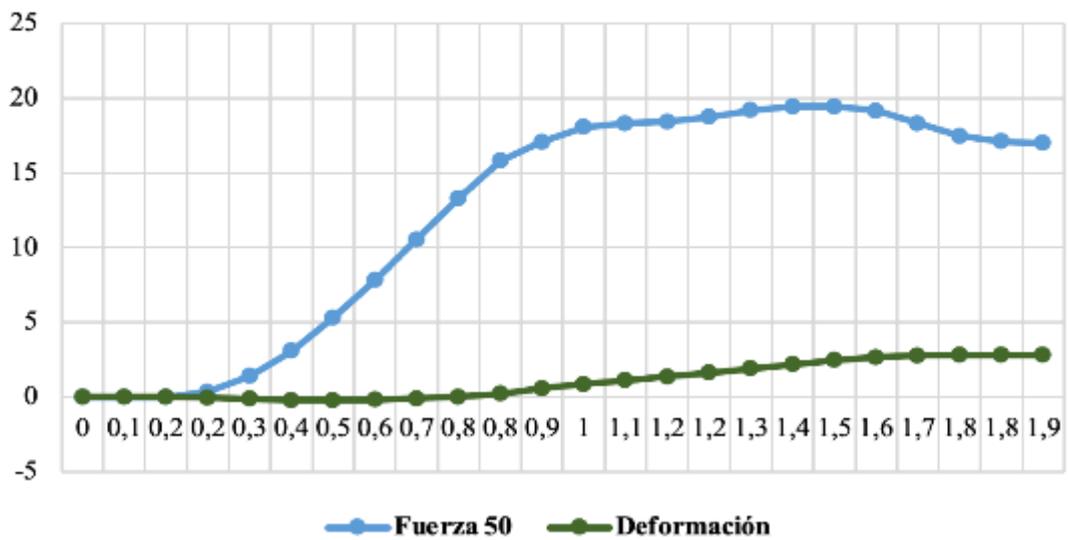
kN/cm<sup>2</sup>, confirmando que el vidrio triturado e silicato de sodio ayudó en la resistencia del producto y es excepcional para las obras civiles.

**Tabla 4-11:** Resultados de referencia de resistencia mínima de compresión de los ladrillos comerciales

Muestra	Dimensiones ladrillo		Área cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos comerciales kN/cm <sup>2</sup>	Resistencia ladrillos comerciales (Mpa)	Resistencia a mínima individual (Mpa) INEN 294	Cumple/No cumple
	Largo (cm)	Ancho (cm)					
Probeta 1	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	19,44 kN/cm <sup>2</sup>	6,00 MPa	6 MPa	Cumple
Probeta 2	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	15,76 kN/cm <sup>2</sup>	4,2 MPa	6 MPa	No cumple
Probeta 3	8 cm	4 cm	32 cm <sup>2</sup>	17,03 kN/cm <sup>2</sup>	5,3 MPa	6 MPa	No cumple

Realizado por: Romero M., 2024.

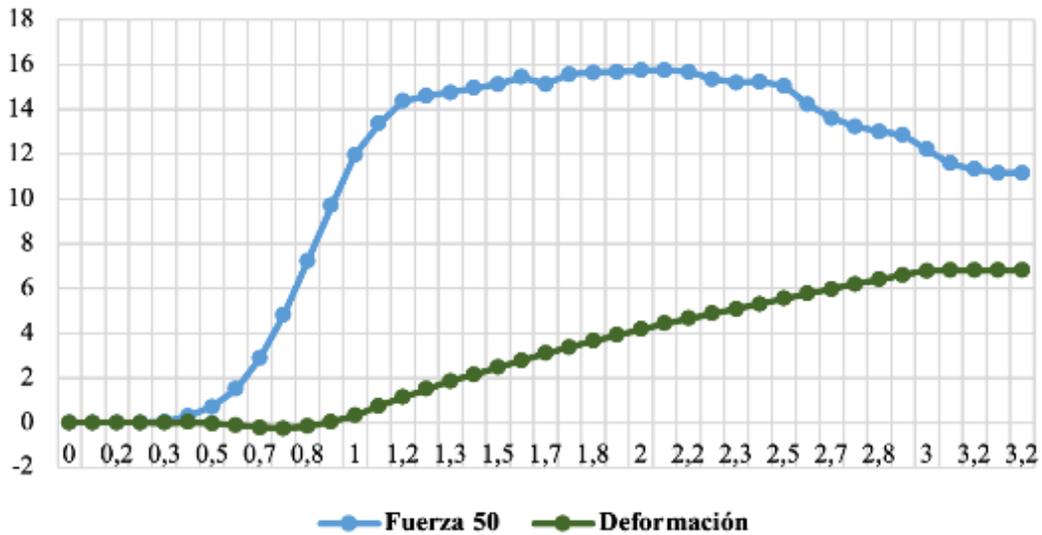
**Resistencia mínima de compresión - Probeta 1**



**Ilustración 4-12:** Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 1

Realizado por: Romero M., 2024.

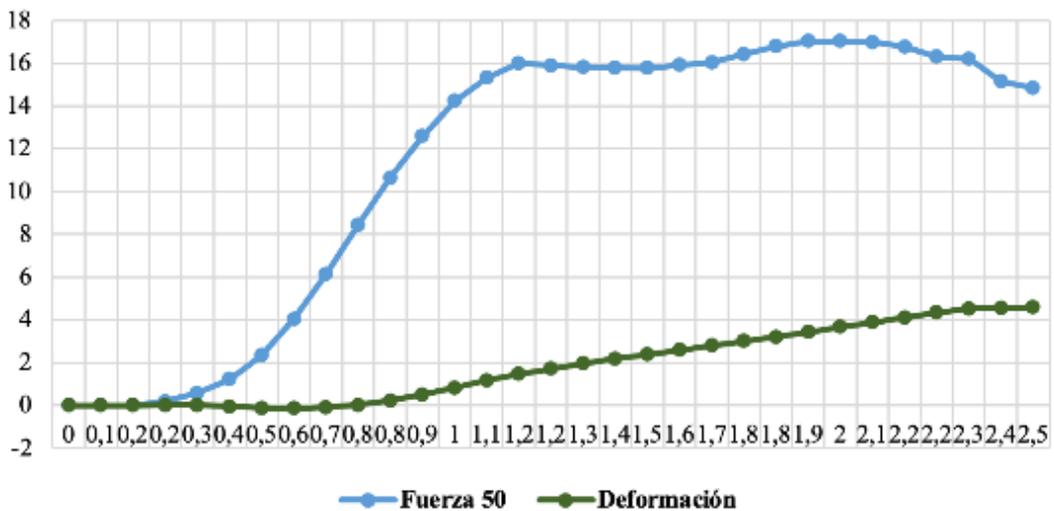
### Resistencia mínima de compresión - Probeta 2



**Ilustración 4-13:** Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 2

Realizado por: Romero M., 2024.

### Resistencia mínima de compresión - Probeta 3



**Ilustración 4-14:** Resistencia mínima de compresión ladrillos comerciales – Probeta 3

Realizado por: Romero M., 2024.

En base a la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 294, menciona que los ladrillos macizos tipo C deben tener una resistencia mínima individual de 6 MPa, teniendo en cuenta el reglamentado se definió que la probeta 1 de los ladrillos comerciales cumple con lo establecido por la normativa, mientras que las demás probetas no cumplen con lo estipulado, considerando los datos recolectados se afirma que el producto cumple con el mínimo de resistencia de compresión.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Como resultado de esta investigación se determinó que la cuantificación adecuada para la elaboración de los ladrillos ecológicos sin la utilización de cemento portland ordinario, es de 20,000 g de arcilla roja, 4000 g de vidrio triturado, 1000 g de silicato de sodio y un estimado de 6000 ml (6000 g) de agua, dejando un total de 31,020 g para la elaboración de los ladrillos ecológicos, estas son las medidas optimas y las que se utilizaron para este proceso.
- Se concluye que la arcilla roja en conjunto con el vidrio triturado y silicato de sodio, son los mejores materiales compuestos para la fabricación de ladrillos ecológicos, basándonos en los resultados alcanzados de la arcilla roja en las medidas de pruebas físicas donde la humedad dio como resultado 16,49%, y la absorción 4,63%, por otro lado, las pruebas mecánicas de las muestras obtenidas en las prácticas arrojaron un valor para límite líquido de 30,93%, límite plástico de 18,27%, índice de plasticidad de 12,66, dejando como resultado que el ladrillo ecológico fabricado en esta presente investigación posee mejores características tanto físicas como mecánicas en comparación de los ladrillos ordinarios, teniendo mejor plasticidad, resistencia y un eficiente porcentaje de aislamiento.
- Así mismo se concluye que los resultados alcanzados en referencia a la resistencia mecánica del ladrillo ecológico y lo que determina en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 297:1977, menciona que la resistencia individual mínima de los ladrillos macizos tipo C debe ser de 6 MPa, teniendo en cuenta las condiciones dadas; los ladrillos ecológicos crudos no cumplen con la normativa con un valor mínimo de 2,70 MPa a 4,10 MPa. A diferencia del ladrillo sin cocer, el ladrillo ecológico cocido cumple con los estándares dispuestos por el país, con una estimado de 7,30 MPa a 11,30 MPa. En contraste, con los datos expuestos se comparó con los ladrillos comerciales los cuales cumplen parcialmente con la normativa con valores de 4,2 MPa a 6,00 MPa, reflejando que el ladrillo ecológico cocido propuesto en esta investigación es la mejor opción en trabajos de construcción.
- El estudio demostró que la absorción de humedad de los ladrillos ecológicos cocidos cumplen con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 296 cuyo porcentaje debe ser inferior a 25%, a partir de ello se demostró que el ladrillo ecológico no tienen desgaste notorio al

sumergirse en agua con valores de 19,79% a 20,09%, a diferencia de los ladrillos comerciales lo cuales presentaron un gran arrastre de material el cual debilita el producto con resultados de 24,58% a 27,26% cumpliendo de manera incompleta lo requerido por los estándares ecuatorianos.

## **5.2 Recomendaciones**

- El proceso de investigación de este producto innovador debe considerarse para su presentación en una exposición o feria de campo de la construcción urbana o civil para hablar de los beneficios y las características de este, así mismo se recomienda concientizar o fomentar otros proyectos de investigación centrados en residuos contaminantes y reciclables para el medio ambiente.
- Se recomienda continuar investigando sobre este tema para conocer el uso de otro tipo de conglomerantes como cal, yeso, etc. y con diferentes porcentajes para conocer la diferenciación que puede llegar a existir en las características mecánicas y físicas del ladrillo ecológico.
- El uso de materiales reciclados como el vidrio esmerilado ayudará a reducir el uso de materiales no renovables y puede mejorar la resistencia a la compresión de los ladrillos, es por eso que se recomienda de manera apropiada utilizar el vidrio triturado como material compuesto para la realización y fabricación de ladrillos ecológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AFANADOR GARCÍA, N., GUERRERO GÓMEZ, G. & MONROY SEPÚLVEDA, R.** *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería, Ciencia e ingeniería neogranadina.* 22ª ed., Barcelona-España: Edites, 2012. ISSN (0124-8170). págs. 53-78.
2. **ALLAUCA., AMEN., LUNG.** “Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño”. *Solid converter* [en línea]. 2020, (Ecuador), vol. 12 (5), págs. 20-33. [Consulta: 22 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso%20de%20s%C3%ADlice%20en%20hormigones%20de%20alto%20desempe%C3%B1o.pdf>
3. **AMAR GIL, S., ARDILA ARIAS, A.N. & BARRERA ZAPATA, R.** “Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir del pirólisis de residuos plásticos”. *Ingeniería y Desarrollo* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 37 (2), pág 145. [Consulta: 23 abril 2024]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612019000200306&script=sci\\_abstract&tIng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612019000200306&script=sci_abstract&tIng=es).
4. **ARAQUE-PABÓN, M., PEÑA-RODRÍGUEZ, G. & VARGAS-GALVIS, F.** “Desempeño mecánico y tribológico de baldosas cerámicas de arcilla roja recubiertas por proyección térmica a partir de alúmina”. *TecnoLógicas* [en línea], 2015, (Colombia), vol. 18 (35), págs 234-255. [Consulta: 1 marzo 2024]. ISSN (0123-7799). Disponible en: <https://doi.org/10.22430/22565337.194?sid=semanticscholar>.
5. **ARBELAEZ PÉREZ, O.F., AGUDELO PINO, J.J., ACEVEDO DIOSA, M. & VALENCIA CIRO, S.** “Factores de emisión de concretos modificados con residuos de vidrio en reemplazo de los agregados finos”. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* [en línea], 2022, (Chile), vol. 30 (2), págs 1-24. [Consulta: 12 marzo 2024]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052022000200368](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052022000200368).
6. **ARBELAEZ-PEREZ, O.F., BURITICÁ-CARDONA, Y. & CATAÑO-RAMOS, W.A.** “Estimación de las emisiones de CO2 de concretos con residuos de vidrio”. *Revista Politécnica* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 18 (35), pág 12. [Consulta: 15 marzo 2024]. ISSN 1900-2351. Disponible en: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a4>.
7. **BALDERAS-MORA, C., NAVARRO-PARGA, M., MUÑIZ-ACUÑA, J., VILLARREAL-MORALES, C., GAMBOA-QUEZADA, R., CASTILLO, A.R., RAMÍREZ-LARA, E., ULRICO, & LÓPEZ -CHUKEN, J.** “Estudio de la calidad microbiológica del aire en el Área Metropolitana de Monterrey NL México”. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina* [en línea], 2020, (México), vol. 12 (3), págs. 43-45.

- [Consulta: 22 marzo 2024]. Disponible en: <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/308>.
8. **BALDIM, M.L.L.S., GUEDES, L.C.V. & CAMARINI, G.** “Política nacional de residuos sólidos”. *Profanações* [en línea], 2020, (Brasil), vol. 7 (2), págs. 6-25. [Consulta: 22 abril 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.24302/prof.v7iesp.2.2978>
  9. **BALLESTER DÍEZ, F., TENÍAS, J.M. & PÉREZ-HOYOS, S.** “Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción”. *Revista Española de Salud Pública* [en línea], 1999, (España), vol. 73 (2), págs. 207-212. [Consulta: 22 abril 2024]. ISSN (1135-5727). Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57271999000200002](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000200002).
  10. **BALLESTER, F.** “Collaboration especial air pollution , climate change and health”. *Rev Esp Salud Pública* [en línea], 2005, (United State of America) vol. 79 (11), págs. 159-175. [Consulta: 14 abril 2024]. ISSN (1135-5727). Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200005>.
  11. **BANCO MUNDIAL.** *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos.* [blog]. United State of America: Banco mundial, 2018. [consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>.
  12. **BERRUEZO, J.A. & JIMÉNEZ, J.D.** *Cambio climático y salud Climate Change and Human Health A mudança climática e saúde.* [blog]. Brasil: Rev. salud ambiente, 2017. [consulta: 2 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.publichealth.columbia.edu/file/8512/download?token=5-ELJfdQ>.
  13. **BORSELLA, G.A.** *Defectos Frecuentes del Vidrio. Definición, Clasificación y Caracterización.* [blog]. España: Jornadas del Vidrio, 2008. [consulta: 2 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ceramicaycristal.com/cc142pdf/vidrios142.pdf>
  14. **BUENO, C., JAENISCH, R., MARTINS, J.C., CASAROTTO, S., MORAES, J.A., SILVA, A.L. & NARA, E.O.** *Caracterización cuantitativa y cualitativa de los residuos de la construcción sólida para nuevas construcciones de edificios* [en línea]. México: Universidad de Santa Cruz do Sul, 2013. [consulta: 2 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8114/1>
  15. **BUSTAMANTE-ORDOÑEZ, J.G., VINTIMILLA-ROJAS, A.E., ANDRADE-GUZMÁN, O.S., ABAD-QUEVEDO, V.L., AGURTO-GRANDA, D.A., LÓPEZ-ESPINOZA, M.D., MACANCELA-HERRERA, D.A. & LUPERCIO-NOVILLO, R.L.** “Calidad-inocuidad de la leche cruda de vaca que ingresa a centros de acopio de la provincia Cañar-Ecuador, en el contexto de las normativas Latinoamericanas”. *Revista*

- Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias* [en línea], 2023, (Chile) vol. 33 (1), págs. 12-19. [consulta: 24 noviembre 2023]. ISSN (0798-2259). Disponible en: <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e33183>.
16. **CARDONA HOWARD, F.S., RENGIFO ROJAS, L.A., GUARÍN MARTÍNEZ, J.F., MAZO CASTRO, D.G. & ARBELÁEZ PÉREZ, O.F.** “Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono”. *Lámpsakos* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 12 (24), págs. 23-34. [consulta: 2 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>.
  17. **CARRASCO, E. & TINOCO, D.** Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de arena de sílice y arcillas mixtas procedentes de la Compañía Minera Sierra Central S.A.C. Chacapalpa/Oroya – Yauli - Junín. [en línea]. (Trabajo de titulación) (grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Lima-Perú. 2018. págs. 5-102. [consulta: 2 diciembre 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5181>
  18. **CARRASCO R., T.** “El reciclaje de vidrio y su impacto en la conservación del medio ambiente”. *Explorador Digital* [en línea], 2019, (Colombia), vol. 1 (4), págs. 12-19. [consulta: 2 diciembre 2023]. ISSN 2661-6831. Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/exploradordigital/article/view/319>.
  19. **CASTRO MEDIAVILLA, J.J., ORBEA HINOJOSA, L.X., TOAPAXI CSANOBA, J.A. & GUANO CALVACHE, C.A.** “Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador”. *INNOVA Research Journal* [en línea], 2017, (Ecuador), vol. 2 (4). pág. 67. [consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/243>.
  20. **CHOEZ SEGOVIA, C., PARRALES CANTOS, G. & ALVAREZ, M.** “Influencia de la recolección de desechos sólidos en la operación del relleno sanitario de Jipijapa”. *Ciencias técnicas y aplicada* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 7, págs. 234-255. [consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/dc.v7i2.1888>.
  21. **CLASIFICACIÓN DEL SUELO.** *Derecho urbanístico. Legislación y jurisprudencia*, Colombia: Edites, 2021. págs. 12-18.
  22. **CUSCO, J. & PICÓN, K.** *Optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramienta*. Colombia: SIG, 2015, págs. 234-299.
  23. **RIBAS, C.** *Calidades De Materiales Para Reciclaje*. México: Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, 2019, págs. 1-24.
  24. **DORIA, A. & RAMIREZ, L.** *Manejo de residuos sólidos municipales en la Universidad Peruana Unión campus Lima*, Perú: Universidad Peruana Unión, 2021, págs. 24-31.

25. **EPA.** *Emisiones de dióxido de carbono.* Colombia: La energía y el medioambiente, 2023, págs 56-61.
26. **FIERRO-RAMOS, I. & SALAZAR-OROZCO, R.** *La contaminación ambiental y violación a los derechos de la naturaleza.* 2ª ed. Ecuador: Digital Publisher CEIT, 2023, pág 56.
27. **GAMBIN-MARTÍNEZ, J.S., BAUTISTA-ZAPATA, T.I., TORRADO-GÓMEZ, L.M., SERRANO GUZMÁN, M.F. & PÉREZ RUIZ, D.D.** “Ecoladrillos: alternativa para aprovechamiento de arcilla y grano de caucho reciclado”. *Inquietud Empresaria* [en línea], 2023, (Colombia), vol. 23 (1), págs. 45-77. [consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/inquietud\\_empresarial/article/view/15699/14030](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/inquietud_empresarial/article/view/15699/14030).
28. **GARCÍA LEÓN, R.A., FLÓREZ SOLANO, E. & ACOSTA PÉREZ, M.A.** “Análisis estructural de una máquina prensadora para producción de ladrillo macizo para las pequeñas industrias artesanales de materiales cerámicos en ocaña norte de santander y en la región”. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada Empresaria* [en línea], 2015, (Perú), vol. 1 (45), págs. 1692-7257. [consulta: 12 febrero 2024]. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/inquietud\\_empresarial/article/view/15699/14030](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/inquietud_empresarial/article/view/15699/14030).
29. **GARCÍA MARÍN, F.M., GÜIZA GALEANO, R.A. & BAQUERO SANABRIA, B.A.** “Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros”. *Ingeniería y Desarrollo* [en línea], 2022, (Perú), vol. 37 (2), págs. 122-234. [consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.1624>.
30. **GRIJALVA ENDARA, A. de las M., JIMÉNEZ HEINERT, M.E. & PONCE SOLÓRZANO, H.X.** “Contaminación del agua y aire por agentes químicos”. *Recimundo* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 4 (4), págs. 45-89. [consulta: 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/883/1425>.
31. **HERNÁNDEZ, E.F., PFEIFFER PEREA, H. & CANO BARRITA, P.F. de J.** “Influencia del mucílago de nopal y extracto de algas cafés en el grado de hidratación de pastas de cemento portland ordinario”. *Nexo Revista Científica* [en línea], 2018, (Colombia), vol. 30 (4), págs. 45-89. [consulta: 12 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5526>.
32. **IBÁÑEZ, W., ARCOS, J. & TEJEDOR, J.** “Residuos sólidos en la ciudad de Macas, Ecuador”. *Dominio de las ciencias* [en línea], 2021, (Colombia), vol. 7, págs. 23-56. [consulta: 12 febrero 2024]. ISSN (2477-8818). Disponible en: <https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2207>.
33. **INDAHNINGRUM, R. PUTRI, NARANJO, J., HERNÁNDEZ, NARANJO, J., PECCATO, L.O.D.E.L. & HERNÁNDEZ.** “Tipos de contaminantes atmosféricos

- asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia”. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea], 2020, (Colombia), vol. 2507 (1), págs. 78. [consulta: 12 febrero 2024]. ISSN (0038092X). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34072>
34. **JIMÉNEZ, M.L.** “Bioindicadores de la contaminación atmosférica”. *Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* [en línea], 2020, (España), vol. 2 (39), págs. 34-67. [consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero39/Destacado-2.pdf>.
35. **MADUEÑO, F., CHOQUE, L., & CLEMENTE., L.** “Ladrillo reciclado para elaboración de pavimento permeable para parqueaderos”. *Novasinerгия Revista Digital de ciencia, ingeniería y tecnología* [en línea], 2023, (España), vol. 6 (1), pág. 276. [consulta: 27 abril 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.37135/ns.01.11.02>.
36. **LOPEZ-YAMUNQUÉ, A. & IANNACONE, J.A.** “La gestión integral de residuos sólidos urbanos en américa latina”. *Paideia* [en línea], 2023, (Perú), vol. 11 (2), págs 453-474. [consulta: 27 abril 2024]. ISSN (2221-7770). Disponible en: <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i2.4087>.
37. **MANCERA ESPINOZA, M.A., MULLER GARCIA, T. & ALONSO OLIVERA, L.Y.** *Cambio Climático. Lo que debes saber* [en línea]. Bogotá- Colombia: Capital Social Por ti, 2017. [consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/energia-e-impacto-ambiental/cambio-climatico-lo-que-debes-saber/13381405>.
38. **MÁRQUEZ, A.** *Problemas ambientales en el ecuador: Ecología verde*. Guayaquil-Ecuador: Enciclopedia Nacional, 2021, págs. 202-217.
39. **MARTÍN-MORALES, M., ELICHE-QUESADA, D., LÓPEZ-ALONSO, M., MARTÍN-PASCUAL, J., PÉREZ-VILLAREJO, L., RUIZ-PADILLO, D.P. & ZAMORANO, M.** “Comportamiento de ecoladrillos con inclusión de biomasas residuales”. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación* [en línea], 2018, (España), vol. 11 (4), págs. 61-79. [consulta: 7 abril 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.51302/tce.2018.223>.
40. **MORENO, D. & MAROTO, I.** La contaminación ambiental por la actividad de los bloques y su incidencia en la salud. [En línea]. (Tesis) (Pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador. 2011. Págs. 4-90. [consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/177>.
41. **NASCIMENTO, D.R., SOUZA, T.F. & LIMA, R.M.F.** “Flotação de minério de ferro com oleato de sódio e silicato de sódio”. *Holos* [en línea], 2014, (Brasil), vol. 4 (1), págs.

- 110-117. [consulta: 12 abril 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1872>.
42. **OBREGON, M. & OSORIO, A.** “Influencia de arcilla expandida en diseño de mezcla de concreto liviano alto rendimiento en distrito de Lircay Angaraes-Huancavelica”. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles* [en línea], 2022, (Perú), vol. 2 (1), págs. 01-10. [consulta: 12 abril 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.54943/ricci.v2i1.214>.
  43. **ORCHESI, L.** “Ingeniería civil, importancia para nuestra sociedad”. *Facultad De Ingeniería Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil* [en línea], 2019, (Perú), vol. 13(5), págs. 01-4. [consulta: 12 abril 2024]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/356647035\\_Facultad\\_de\\_ingenieria\\_escuela\\_academico\\_profesional\\_de\\_ingenieria\\_civil\\_ingenieria\\_civil\\_importancia\\_para\\_nuestra\\_sociedad](https://www.researchgate.net/publication/356647035_Facultad_de_ingenieria_escuela_academico_profesional_de_ingenieria_civil_ingenieria_civil_importancia_para_nuestra_sociedad).
  44. **PEÑA RODRÍGUEZ, G., PEÑA QUINTERO, J.Y. & GÓMEZ TOVAR, M.A.** “Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja”. *Ciencia en desarrollo* [en línea], 2014, (Colombia), vol. 5(1), págs. 44-77. [consulta: 12 abril 2024]. ISSN (0121-7488). Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01217488.3227>.
  45. **PERALTA, A.** *Tipos de cromatografía*. [blog]. Argentina: Eprints, 2014. [consulta: 19 abril 2024]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/13993/1/1080237758.pdf>.
  46. **PERALTA, J.** Elaboración de ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca. . [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2018. Págs. 84. [consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: [ttp://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30268](http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30268).
  47. **PILAY TOALA, F.S., ARMIJOS NAULA, J.P. & ARÉVALO HERRERA, J.V.** “Utilización del vidrio triturado como material de construcción en cantón Santo Domingo”. *SATHIRI: Sembrador desarrollo* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 15 (2), págs. 208-2019. [consulta: 12 abril 2024]. ISSN (1390-6925). Disponible en: <https://doi.org/10.32645/13906925.998>.
  48. **POMPILLA CÁCERES, N., TANCO FERNÁNDEZ, P., ANGULO SALAS, F., GONZA COAGUILA, V. & NEYRA GUTIÉRREZ, D.** “Procesador de datos para estimar la composición del crudo en la dosificación de materias primas para la elaboración de cemento”. *Industrial Data* [en línea], 2022, (Perú), vol. 25 (1), págs. 7-35. [consulta: 25 abril 2024]. ISSN (1560-9146). Disponible en: <https://doi.org/10.15381/idata.v25i1.19686>.
  49. **RAHERISON SEMJEN. C.** “Contaminación atmosférica y medioambiental y patología respiratoria”. *EMC - Tratado de Medicina* [en línea], 2020, (Francia), vol. 24 (3), págs. 278-

289. [consulta: 2 mayo 2024]. ISSN (16365410). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1636-5410\(20\)44024-3](https://doi.org/10.1016/S1636-5410(20)44024-3).
50. **ROBERTO, J., SOLORZANO, S., FABIAN, ; GUERRERO MEDINA, E., CERNA CHÁVEZ, R. & CARBAJAL, K.G.** “Ladrillo ecológico elaborado con papel reciclado: Costo y propiedades físico-mecánicas”. *Conocimiento para el desarrollo* [en línea], 2018, (Perú), vol. 9 (2), págs. 29-34. [consulta: 2 febrero 2024]. ISSN (2664-4665). Disponible en: <https://revista.usanpedro.edu.pe/index.php/CPD/article/view/339>.
51. **ROMERO, S., CASTRO, O., CALLES, T., CÁCERES, D., FERNÁNDEZ, H., MACÍAS, Y., BECKFORD, Y. & BANDA, J.** “Envases de Vidrio”. *Semilla Científica* [en línea], 2021, (Panamá), vol. 2 (2), pág. 129. [consulta: 2 febrero 2024]. ISSN (22710-7574.). Disponible en: <https://repositorio.umecit.edu.pa/handle/001/4618>.
52. **SÁEZ, A. & URDANETA, J.** “Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe”. *Choice Reviews Online* [en línea], 2014, (Venezuela), vol. 44 (3), págs 1-16. [consulta: 12 marzo 2024]. ISSN (0009-4978.). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>.
53. **SÁNCHEZ, A.M., VAYAS, T., MAYORGA, F. & FREIRE, C.** “Evolución De La Industria Del Vidrio En Ecuador”. *UTA Dípticos* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 73 (1), págs. 34-45. [consulta: 11 abril 2024]. Disponible en: [https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico\\_N73.pdf](https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N73.pdf).
54. **SILVA, J.P.P. D.** “Mecanismo de ação do silicato de sódio como depressor em flotação”. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral* [en línea], 2011 (Brasil), vol. 2 (1), págs. 34-56. [consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5088>.
55. **SILVA, M.G. da, GOMES, V. & SAADE, M.R.M.** “The contribution of life-cycle assessment to environmentally preferable concrete mix selection for breakwater applications”. *Ambiente Construído* [en línea], 2018 (Brasil), vol. 18 (2), págs. 12-23. [consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ac/a/6cZbGjcQVSKFGXRLYvrJxLJ/?lang=en>.
56. **SOLÍS-BLANDÓN, A. & ABARCA-GUERRERO, L.** “Análisis de flujo de materiales de los residuos sólidos del distrito de Guápiles”. *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2021 (Costa Rica), vol. 34 (4), pág. 122. [consulta: 21 enero 2024]. ISSN (0379-3982). Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822021000400063](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822021000400063).
57. **SORNOZA-TITUANO, J.A., ZAMBRANO-SACÓN, R.W., CABALLERO-GILER, B.I. & VELIZ-PÁRRAGA, J.F.** “Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión”. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2022, (España),

- vol. 7 (4), págs. 341-356. [consulta: 22 febrero 2024]. ISSN (2550-682X). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8483010>.
58. **SUQUILANDA GAMBOA, F.A.** “Clasificación estructural de los ladrillos de arcilla cocida artesanal y semindustrial según Reglamento E-070 de Albañilería-Lima 2018”. *Universidad Cesar Vallejo* [en línea], 2019, (Perú), vol. 1 (20), pág. 465. [consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/41558/Suquilanda\\_GFA.pdf.txt;jsessionid=A1A59379B7D38F217C82D4F1BD94B4E4?sequence=3](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/41558/Suquilanda_GFA.pdf.txt;jsessionid=A1A59379B7D38F217C82D4F1BD94B4E4?sequence=3).
59. **TELLO, L. & SÁNCHEZ, A.** “Contaminación ambiental en Ecuador”. *Ciencia Sociales y Económicas* [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 3 (1), págs. 231-244. [consulta: 18 febrero 2024]. ISSN (2588-0586). Disponible en: <https://doi.org/10.18779/csye.v3i1.285>.
60. **TODERO, A.S., PEREIRA, F. de O., MACIESKI, R.J., FINKLER, D.E., PETKOWICZ, D., LAGO, R.M.D. & MIGNONI, M.L.** “Síntese e aplicação do material mesoporoso do tipo Nb-MCM com líquido iônico utilizando sílica derivada das cinzas da casca de arroz em elastómeros”. *Research, Society and Development* [en línea], 2022, (Brasil), vol. 11 (6), págs. 34-45. [consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28831>.
61. **VANDEVENTER, J.S. & LLOVERAS, J.** “Organizing degrowth: The ontological politics of enacting degrowth in OMS”. *Organization* [en línea], 2021, (United State of America), vol. 28 (3), págs. 272-255. [consulta: 3 enero 2024]. ISSN (14617323). Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1350508420975662>.
62. **VAZQUEZ PEREZ, A.** “Estudio de los factores de contaminación en la producción de cemento para la reducción de emisiones gaseosas”. *Revista Internacional. Contaminación Ambiental* [en línea], 2022, (España), vol. 37 (6), págs. 565-576. [consulta: 16 enero 2024]. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/53991>.
63. **VINOS ALDANA, J.A.** “La Fabricación Del Vidrio Y La Protección Del Medio Ambiente”. *Cerámicos y Vidrios* [en línea], 1988, (España), vol. 27 (2), pág. 45. [consulta: 16 enero 2024]. Disponible en: <https://boletines.secv.es/upload/198827283.pdf>.
64. **YÉLAMOS, F., SACKO, I., DAO, M., SANOGO, S., OROUNLADJI, B.M., DIAKITÉ, K., TRAORE, D., COULIBALY, M.D., CISSE, A.B., P. MARCONI ET AL., GUERRA P. T.M., ENDARA G. ET AL., DEL VALLE, J., ABD EL-TAWAB, M.M., YOUSSEF, I.M.I., BAKR, H.A., FTHENAKIS, G.C., GIADINIS, N.D. & YÉLAMOS, F.** “Intoxicación por metales pesados: plomo, arsénico y mercurio”. *Recimund* [en línea], 2022, (España), vol. 26 (1), págs. 502-567. [consulta: 2 mayo 2024]. ISSN (23078316). Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000200008](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008).



## ANEXOS

### ANEXO A: ADQUISICIÓN MATERIA PRIMA



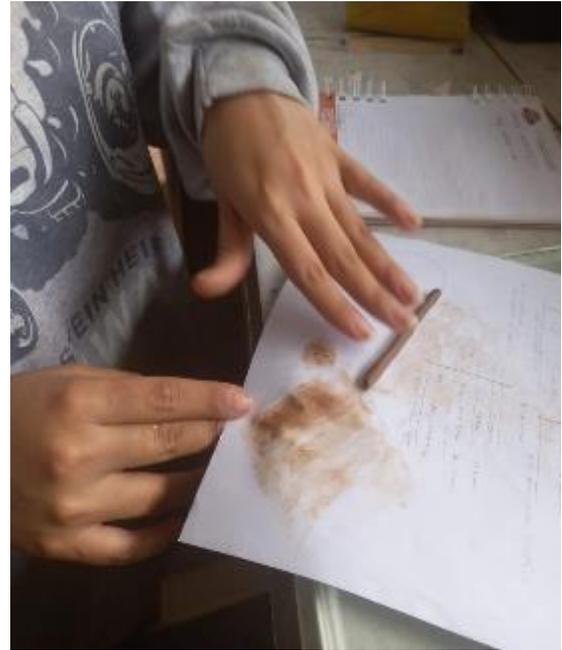
## ANEXO B: TRITURADO DEL VIDRIO



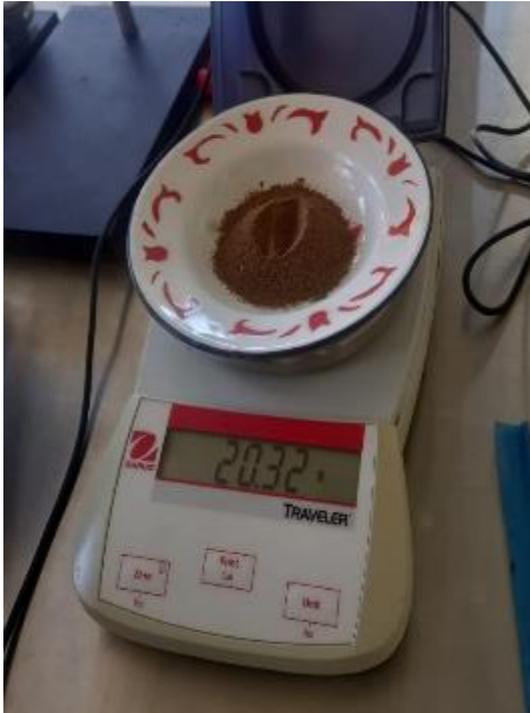
## ANEXO C: PRUEBA DE LABORATORIO ABSORCIÓN



## ANEXO D: LÍMITE PLÁSTICO DE LA ARCILLA



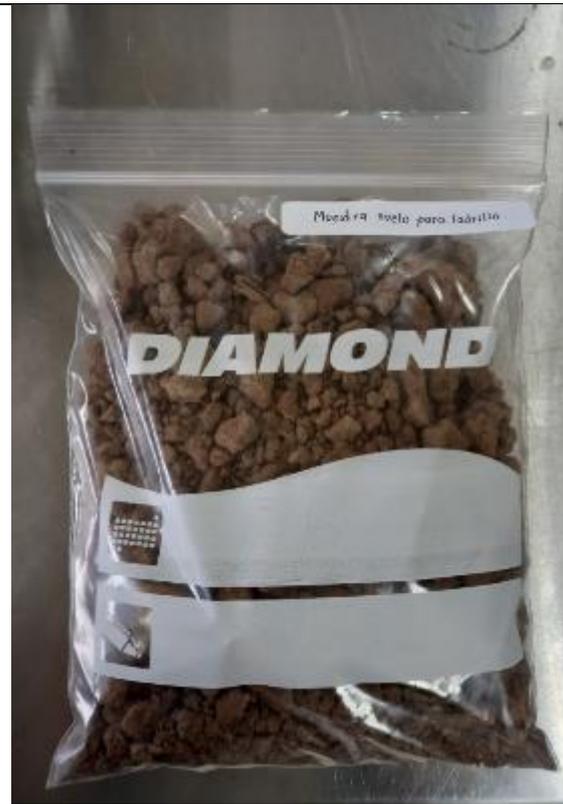
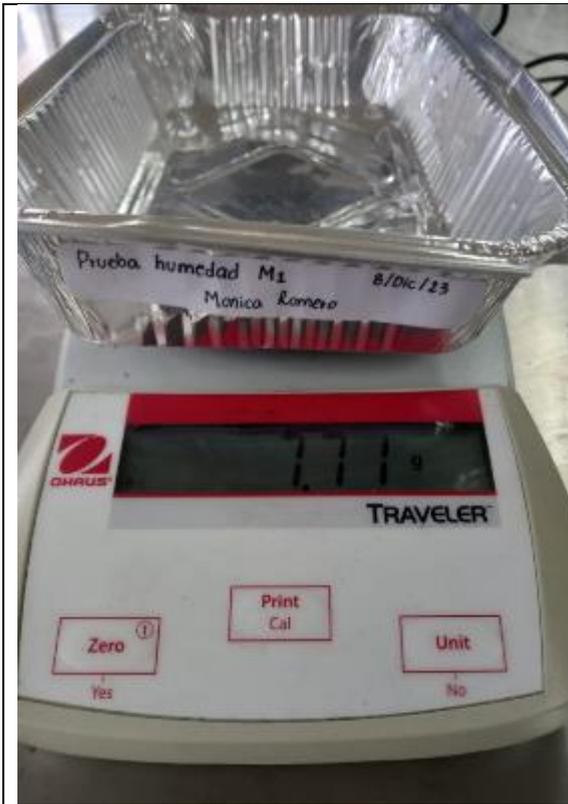
ANEXO E: LIMITE LIQUIDO DE LA ARCILLA



## ANEXO F: GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA



# ANEXO G: HUMEDAD DE LA ARCILLA



**ANEXO H: PREPARACIÓN DE LA MEZCLA PARA LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS Y MOLDEADO**



**ANEXO I: COCCIÓN DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS Y PESADOS (CRUDOS)**



**ANEXO J: LADRILLOS ECOLÓGICOS COCINADOS Y PESADOS**



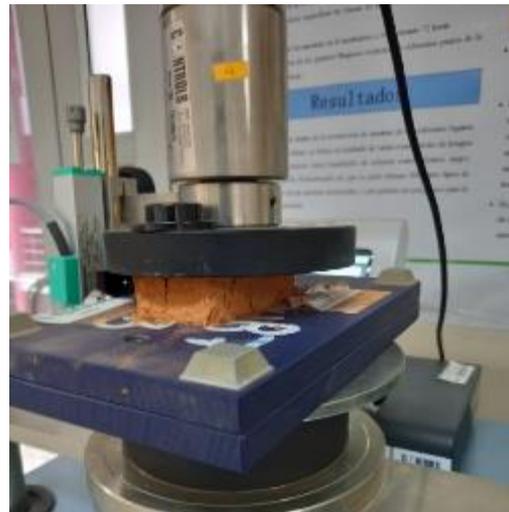
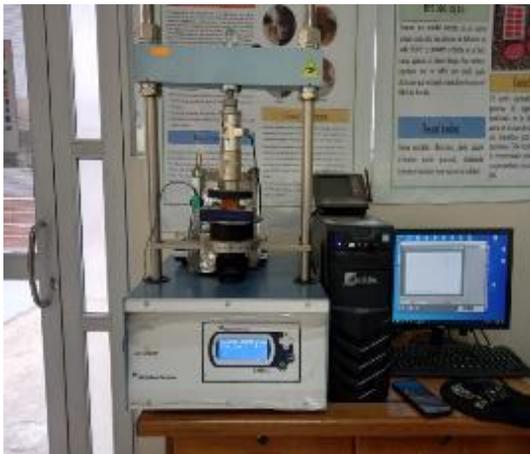
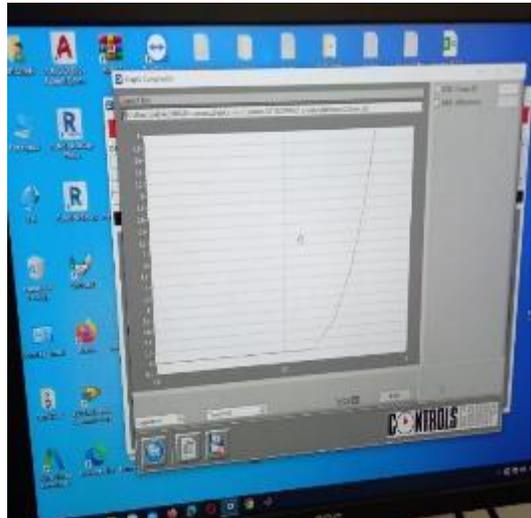
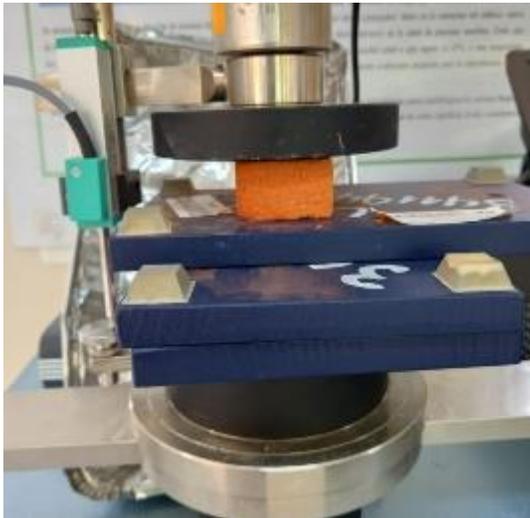
**ANEXO K: DIMENSIONES LADRILLOS CRUDOS (COLOR CAFÉ) Y COCIDOS (COLOR ROJIZO)**



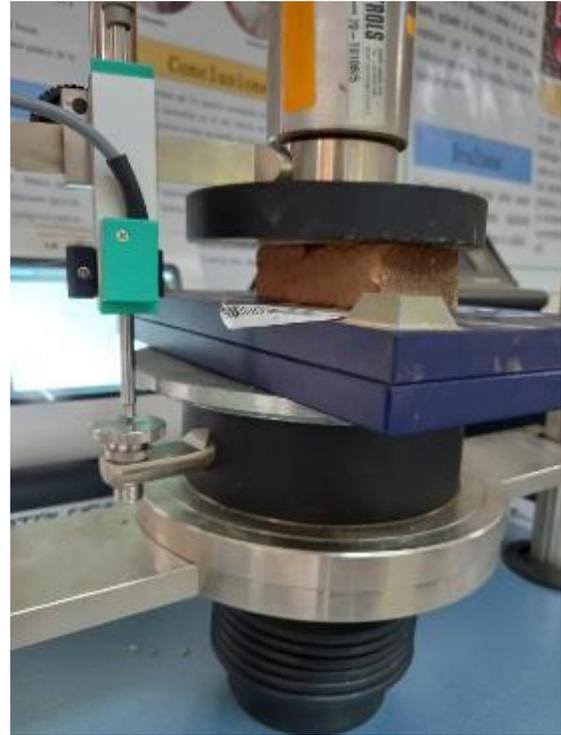
## ANEXO L: LADRILLOS ECOLÓGICOS COCIDOS



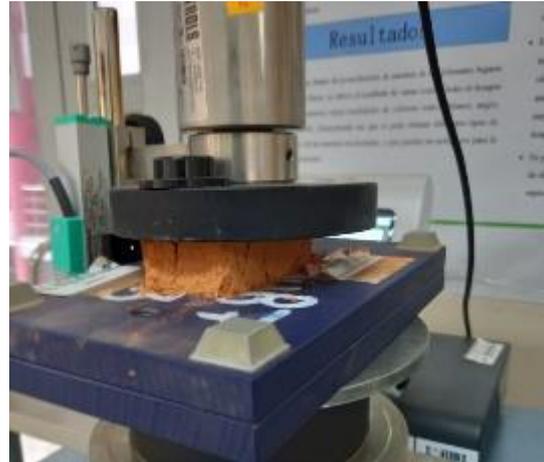
## ANEXO M: PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS COCIDOS



## ANEXO N: PRUEBAS DE RESISTENCIA LADRILLOS ECOLÓGICOS CRUDOS



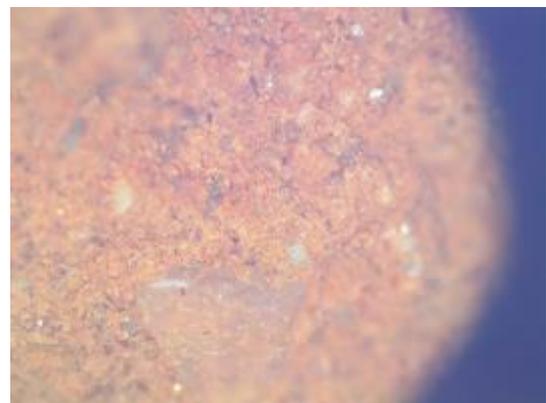
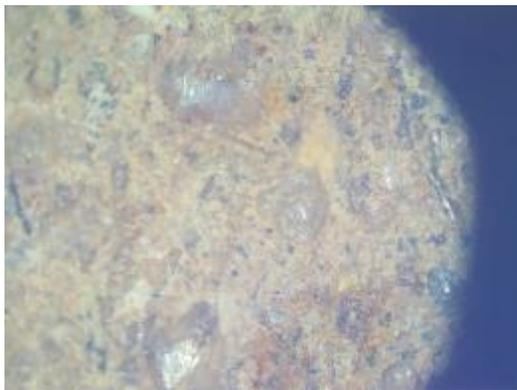
## ANEXO O: PRUEBAS DE RESISTENCIA LADRILLOS COMERCIALES



**ANEXO P: ABSORCIÓN DE LOS LADRILLOS**



**ANEXO Q: OBSERVACIÓN EN EL MICROSCOPIO DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS  
CRUDOS, COCIDOS Y COMERCIALES**





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

Fecha de entrega: 10/06/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Monica Alexandra Romero Chacha
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
  <b>Ing. Luis Patricio Tierra Pérez, Mgs</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>   <b>Ing. Eduardo Santiago Cazar Rivera, Mgs</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>