

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE  
LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS APLICANDO  
LA NORMA INEN 3049**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL**

**DÉFAZ VISUETE MADELAINE LUZ**

made\_2442@hotmail.com

**ECHEVERRÍA ANDRADE MARJORIE ABIGAEL**

marjorie\_48@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. LATORRE AIZAGA HUGO JULIANNY**

hugo.latorre@epn.edu.ec

**CO-DIRECTORA: ING. VILLACÍS TRONCOSO EUGENIA DE LAS MERCEDES**

mercedes.villacis@epn.edu.ec

**Quito, octubre 2021**

## **DECLARACIÓN**

Nosotras, Défaz Visuete Madelaine Luz y Echeverría Andrade Marjorie Abigael, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**DÉFAZ VISUETE  
MADELAINÉ LUZ**

---

**ECHEVERRÍA ANDRADE  
MARJORIE ABIGAEŁ**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Défaz Visuete Madelaine Luz y Echeverría Andrade Marjorie Abigael, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Latorre Aizaga Hugo Julianny

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Villacís Troncoso Eugenia

**CODIRECTORA DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por mantenerme en pie ante mis caídas y darme fuerza para levantarme y seguir adelante. Agradezco especialmente a mis padres Carlos Défaz, Yolanda Visuete por ser el soporte de mi vida en cada momento, por su confianza, cuidado y sus ánimos ante mis tropiezos.

Agradezco a mis hermanas Gianni Défaz, Selene Défaz por sus consejos, abrazos, por resignarse a mi terquedad y a pesar de eso apoyarme incondicionalmente.

Agradezco a la planta productora de lácteos por su cooperación en este proyecto de titulación.

Agradezco a mi compañera de tesis Marjorie Echeverría por su apoyo en mi vida académica, por su paciencia y colaboración.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por el conocimiento brindado y la oportunidad de convertirme en un profesional de calidad y excelencia, a los ingenieros que me impartieron clases que me dieron la oportunidad de aprender de mis errores y corregirlos.

Agradezco a mi director de tesis el Ingeniero Julliany Latorre quien ha brindado su tiempo y disponibilidad para que este proyecto se realice.

A la Ingeniera Mercedes Villacis quien inició la tesis y al Ingeniero Germán Luna quien ha apoyado esta tesis con su gestión y tiempo.

*Madelaine Défaz*

## AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen por siempre mostrarse presentes sobre todo en los momentos más difíciles. Gracias infinitas por guiar mi camino hasta esta etapa y por la bendición de poder disfrutar de este logro junto a mi familia.

A mi Mamá por apoyar a mi papá en todos sus emprendimientos, por su amor desmedido, sus cuidados y dedicación hacia nosotros. Me demostró que se puede cambiar por amor a sus hijas.

A mi Papá por demostrarme que los sacrificios son sinónimos de recompensa, por luchar para la familia frente a toda adversidad. A los dos por siempre dar prioridad en hacernos estudiar a mi hermana y a mí.

A mi Ñañita por ser mi principal protectora, por regañarme y hacerme poner los pies en la tierra cada vez que lo necesito. Por su amor incondicional y todas las locuras en las que me acompaña. Gracias por cuidar de nuestra familia cuando fue tu turno.

A Made por ser mi amiga y compañera de tesis, por apoyarme cuando más lo necesito, sus consejos, paciencia y por tantas risas que nunca creí que me sacaría. A la familia Défaz Visuete por abrirme las puertas de su hogar y también por toda su colaboración en esta investigación.

A mi director por su plena disposición en colaborar para la pronta culminación de este proyecto. A mi codirectora por facilitarnos el tema de tesis.

Planta láctea por brindarnos toda la información que sustenta esta investigación y especialmente a los Ingenieros Pablo Cueva y Fernanda Santamaría por sus consejos y motivación en la investigación.

*Marjorie Echeverría*

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mis abuelitos Luis Visuete y María Campaña quienes me han convertido en la persona que soy con sus caricias, mimos y abrazos que a pesar de no estar presentes sé que me guían y me cuidan.

A mis padres quienes a pesar de no estar conmigo por su trabajo han sabido darme todo lo que necesito y convertirme en una persona de bien con sus reprimendas y sus premios.

A mi compañera de tesis por las madrugadas para entregar los trabajos y las amanecidas para los exámenes, porque, aunque nos vaya mal no nos hemos rendido.

A mi familia y amigos por su apoyo y su tiempo cuando lo he necesitado, por impulsarme a conseguir mi meta y superarme cada día.

*Madeline DeAg*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación se lo dedico a Dios y a la Virgen por las bendiciones que recibo cada día. También a mis padres y a mi hermana quienes durante toda mi vida han sido mis mayores motivadores, este logro fue por y para ustedes. Los admiro tanto; su perseverancia, esfuerzos y amor me inspiran para ser una mejor versión de mí.

*Marjorie Echeverría*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XVII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XX
RESUMEN .....	XXI
ABSTRACT .....	XXII
PRESENTACIÓN .....	XXIII
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.OBJETIVOS .....	4
1.3.1.OBJETIVO GENERAL.....	4



1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4.ALCANCE .....	4
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1.PLANTA DE LÁCTEOS .....	6
2.1.1.LOCALIZACIÓN .....	6
2.1.2.RESEÑA HISTÓRICA .....	6
2.1.3.PRODUCCIÓN .....	7
2.2.AGUAS RESIDUALES .....	8
2.2.1.CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	10
2.2.1.1. CALIDAD .....	10
2.2.1.2.CANTIDAD .....	10
2.2.2.PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	11
2.2.2.1.PRETRATAMIENTO U OPERACIONES PRELIMINARES.....	11
2.2.2.2.TRATAMIENTO PRIMARIO .....	13
2.2.2.3.TRATAMIENTO SECUNDARIO .....	14
2.2.2.4.TRATAMIENTO Terciario.....	15
2.2.3.RESULTADO AGUA TRATADA .....	15
2.2.4.DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	16
2.3. LODOS.....	17
2.3.1.LÍNEA DE LODOS.....	18
2.3.1.1.ESPESAMIENTO .....	19

2.3.1.2.ESTABILIZACIÓN .....	19
2.3.1.3.ACONDICIONAMIENTO.....	19
2.3.1.4.DESHIDRATACIÓN.....	20
2.3.1.5.DISPOSICIÓN FINAL .....	20
2.3.2.COMPOSICIÓN DEL LODO.....	20
2.3.2.1.LODO RESIDUAL SIN TRATAR.....	20
2.3.2.2.LODO RESIDUAL TRATADO.....	21
2.3.3.DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÍNEA DE LODOS.....	22
2.3.4.APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN .....	22
2.4.LADRILLOS.....	23
2.4.1.MATERIAS PRIMAS.....	24
2.4.1.1. ARCILLA.....	24
2.4.2.CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS SEGÚN LA NTE INEN 3049 .....	26
2.4.2.1.SEGÚN SU TIPO.....	26
2.4.2.2.SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE SUS PERFORACIONES Y VOLUMEN .....	27
2.4.2.3.OTRAS CLASIFICACIONES .....	30
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>31</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
3.1.CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	31
3.1.1.PROPIEDADES FÍSICAS.....	31
3.1.1.1.CONTENIDO DE HUMEDAD .....	31

3.1.1.2.GRANULOMETRÍA .....	33
3.1.1.2.1.GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO.....	33
3.1.1.2.2.GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO.....	38
3.1.1.3.LÍMITES DE ATTERBERG .....	46
3.1.1.3.1.LÍMITE LÍQUIDO .....	46
3.1.1.3.2.LÍMITE PLÁSTICO .....	49
3.1.1.3.3.ÍNDICE DE PLASTICIDAD .....	50
3.1.1.3.4.LÍMITE DE CONTRACCIÓN.....	51
3.1.1.3.5.ÍNDICE DE CONTRACCIÓN .....	51
3.1.1.4.DENSIDAD DE SÓLIDOS .....	52
3.1.1.5.CLASIFICACIÓN SUCS .....	56
3.1.2.PROPIEDADES QUÍMICAS .....	58
3.1.2.1.DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	58
3.1.2.2.FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) .....	60
3.2.CARACTERIZACIÓN DEL LODO .....	61
3.2.1.PROPIEDADES FÍSICAS .....	61
3.2.1.1.CONTENIDO DE HUMEDAD .....	61
3.2.1.2.GRANULOMETRÍA .....	62
3.2.1.2.1.GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO.....	62
3.2.1.2.2.GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO.....	64
3.2.1.3.LÍMITES DE ATTERBERG .....	64
3.2.1.3.1.LÍMITE LÍQUIDO .....	64
3.2.1.3.2.LÍMITE PLÁSTICO .....	64
3.2.1.4.DENSIDAD DE SÓLIDOS .....	65

3.2.1.5.CLASIFICACIÓN SUCS .....	66
3.2.2.PROPIEDADES QUÍMICAS .....	66
3.2.2.1.DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) .....	66
3.2.2.2.FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) .....	67
3.3.ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS .....	68
3.3.1.EXTRACCIÓN DE ARCILLAS .....	68
3.3.2.PULVERIZACIÓN.....	68
3.3.3. MEZCLA .....	69
3.3.4. MOLDEO .....	69
3.3.5. SECADO .....	71
3.3.6.CARGA DEL HORNO.....	71
3.3.7.COCCIÓN .....	72
3.3.8.DESCARGA DE HORNO .....	73
3.3.9.DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS	74
3.4.PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LADRILLOS .....	74
3.4.1.RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	74
3.4.2.ABSORCIÓN DE AGUA .....	79
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>81</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>81</b>
4.1.CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO Y LODO.....	81
4.2.CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO Y LODO .....	82
4.3.CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS .....	84
4.3.1.RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	84

4.3.2.ABSORCIÓN DE AGUA .....	85
4.4.LADRILLO CON LA MEZCLA ÓPTIMA .....	87
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>89</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
5.1.CONCLUSIONES.....	89
5.2.RECOMENDACIONES.....	95
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO .....	9
TABLA 2.2 ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL .....	10
TABLA 2.3 ANÁLISIS DEL AGUA TRATADA.....	16
TABLA 2.4 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS .....	18
TABLA 2.5 ANÁLISIS DEL LODO RESIDUAL SIN TRATAR.....	21
TABLA 2.6 ANÁLISIS DEL LODO RESIDUAL TRATADO.....	21
TABLA 2.7 CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS .....	29
TABLA 3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO .....	33
TABLA 3.2 GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO DEL SUELO .....	37
TABLA 3.3 DATOS ENSAYO GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO DEL SUELO .....	44
TABLA 3.4 TABLA GRANULOMÉTRICA DE GRUESOS DEL SUELO .	44
TABLA 3.5 TABLA GRANULOMÉTRICA DE FINOS DEL SUELO .....	45
TABLA 3.6 LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO .....	48
TABLA 3.7 LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO .....	50
TABLA 3.8 LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO.....	51
TABLA 3.9 DENSIDAD DEL AGUA Y COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K) PARA DIVERSAS TEMPERATURAS .....	55
TABLA 3.10 DENSIDAD DE SÓLIDOS DEL SUELO .....	56
TABLA 3.11 RESUMEN DE GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO.....	57

TABLA 3.12 TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	57
TABLA 3.13 DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL SUELO.....	59
TABLA 3.14 FLUORESCENCIA DE RAYOS X DEL SUELO .....	61
TABLA 3.15 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL LODO .....	62
TABLA 3.16 GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO DEL LODO .....	63
TABLA 3.17 DENSIDAD DE SÓLIDOS DEL LODO .....	66
TABLA 3.18 DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL LODO.....	67
TABLA 3.19 FLUORESCENCIA DE RAYOS X DEL LODO .....	67
TABLA 3.20 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL.....	77
TABLA 3.21 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS .....	77
TABLA 3.22 ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA .....	80
TABLA 4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO Y LODO.....	81
TABLA 4.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL SUELO Y LODO .....	83
TABLA 4.3 FLUORESCENCIA DE RAYOS X DEL SUELO Y LODO ....	83
TABLA 4.4 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	84
TABLA 4.5 RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA...	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 DIAGRAMA DEL PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	17
FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÍNEA DE LODOS .....	22
FIGURA 2.3 PARTES DEL LADRILLO CERÁMICO.....	24
FIGURA 2.4 MAPA GENERAL DE SUELOS DEL ECUADOR .....	25
FIGURA 2.5 EJEMPLOS DE UNIDADES DE PERFORACIÓN HORIZONTAL (PH).....	27
FIGURA 2.6 EJEMPLOS DE UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL (PV).....	28
FIGURA 2.7 EJEMPLOS DE UNIDADES MACIZAS (M).....	29
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS.....	74



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 3.1 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL SUELO.....	38
GRÁFICA 3.2 CURVA GRANULOMÉTRICA COMPLETA DEL SUELO	45
GRÁFICA 3.3 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL LODO.....	63
GRÁFICA 4.1 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CON RESULTADOS.....	85
GRÁFICA 4.2 COMPARACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA REQUERIDA CON RESULTADOS.....	87
GRÁFICA 4.3 PORCENTAJE ÓPTIMO DE LODO.....	88

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2.1 TRAMPA DE GRASAS.....	11
FOTOGRAFÍA 2.2 TANQUE HOMOGENIZADOR .....	12
FOTOGRAFÍA 2.3 SISTEMA DAF.....	13
FOTOGRAFÍA 2.4 ADICIÓN DE CAL Y FILTRO PRENSADORA .....	14
FOTOGRAFÍA 2.5 BIOREACTOR.....	15
FOTOGRAFÍA 2.6 ALMACENAMIENTO DEL LODO RESIDUAL .....	20
FOTOGRAFÍA 3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO .....	33
FOTOGRAFÍA 3.2 LAVADO DE LA MUESTRA DE SUELO .....	35
FOTOGRAFÍA 3.3 TAMIZADO DEL SUELO .....	36
FOTOGRAFÍA 3.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y SOLUCIÓN DE SUELO Y LODO.....	39
FOTOGRAFÍA 3.5 CORRECCIÓN POR MENISCO.....	40
FOTOGRAFÍA 3.6 PREPARACIÓN DE LA LECHADA DE SUELO.....	41
FOTOGRAFÍA 3.7 LAVADO Y PESAJE DE LA MUESTRA DE SUELO	42
FOTOGRAFÍA 3.8 LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO .....	47
FOTOGRAFÍA 3.9 LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO .....	50
FOTOGRAFÍA 3.10 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA LA DENSIDAD DE SÓLIDOS .....	53
FOTOGRAFÍA 3.11 APLICACIÓN DE VACÍO Y PESAJE DE LA LECHADA DE AIREADA.....	54
FOTOGRAFÍA 3.12 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL LODO .....	62

FOTOGRAFÍA 3.13 GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO DEL LODO .....	64
FOTOGRAFÍA 3.14 LÍMITE PLÁSTICO DEL LODO .....	65
FOTOGRAFÍA 3.15 DENSIDAD DE SÓLIDOS DEL LODO .....	65
FOTOGRAFÍA 3.16 MOLINO DE MARTILLOS PARA PULVERIZAR TIERRA .....	68
FOTOGRAFÍA 3.17 DOSIFICACIÓN DE LODO EN LA MEZCLA CON ARCILLA .....	69
FOTOGRAFÍA 3.18 MÁQUINA EXTRUSORA DE LADRILLOS .....	70
FOTOGRAFÍA 3.19 PROCESO DE MOLDEO .....	70
FOTOGRAFÍA 3.20 LADRILLOS RECIÉN MOLDEADOS Y SU POSTERIOR SECADO .....	71
FOTOGRAFÍA 3.21 CARGA DEL HORNO Y UBICACIÓN.....	72
FOTOGRAFÍA 3.22 COCCIÓN DE LADRILLOS .....	73
FOTOGRAFÍA 3.23 DESCARGA DE HORNO .....	73
FOTOGRAFÍA 3.24 REFRENTADO DE LADRILLOS.....	75
FOTOGRAFÍA 3.25 INGRESO DE DATOS PARA CALCULAR LA RESISTENCIA .....	76
FOTOGRAFÍA 3.26 RUPTURA DE LADRILLOS PATRÓN .....	78
FOTOGRAFÍA 3.27 ABSORCIÓN DE LADRILLOS.....	80
FOTOGRAFÍA 4.1 LADRILLO DE MUESTRA CON UN 30% DE LODO	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO REALIZADO EN EL LABORATORIO LEMSUR.....	103
ANEXO 2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL LODO RESIDUAL REALIZADO EN EL LABORATORIO LEMSUR.....	108
ANEXO 3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) REALIZADO EN EL LABORATORIO DEMEX.....	111
ANEXO 4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) REALIZADO EN EL LABORATORIO DEMEX.....	113
ANEXO 5 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REALIZADO EN EL LABORATORIO LEMSUR.....	115
ANEXO 6 RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN DE AGUA REALIZADO EN EL LABORATORIO LEMSUR.....	122
ANEXO 7 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL LADRILLO PATRÓN Y LADRILLO ECOLÓGICO CON EL 5% DE LODO .....	129

## RESUMEN

La producción de leche es esencial en la alimentación de las personas, su alto contenido de nutrientes beneficiosos para el cuerpo, ha elevado la demanda por su consumo. Teniendo como resultado una gran cantidad de residuo producto de la limpieza y desinfección de maquinaria, al cual se le denomina lodo.

En este trabajo de titulación se evalúa la eficiencia del lodo, como un reemplazo parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos.

El proyecto en su parte experimental se compone de tres etapas, la primera se inicia con la búsqueda del ladrillo patrón que cumpla la resistencia mínima requerida por la norma NTE INEN 3049, cuyo resultado seleccionó a una ladrillera en la ciudad de Ibarra. Por otra parte, se obtuvo la muestra de lodo residual de una planta de lácteos en Quito.

En la segunda etapa se realizó un análisis físico y químico del suelo y lodo. Para conocer las propiedades de estos materiales y sus beneficios para la construcción.

La tercera etapa estuvo conformada por la elaboración de 10 ejemplares de ladrillos en dosificaciones del 5%, 10%, 15%, 20% y 30% de reemplazo parcial de arcilla por lodo. Se realizaron ensayos para analizar las propiedades físicas de los ladrillos.

Con los resultados de los ensayos se evidenció que el lodo no presenta beneficio para los ladrillos, ya que en ninguna dosificación se obtuvo la resistencia a la compresión requerida por la normativa. Adicional a esto superan el porcentaje de absorción de agua máximo.

En cuanto a la resistencia a compresión, se analizó que el porcentaje óptimo de lodo en la mezcla debe ser del 2 %, para que dicho parámetro no se vea afectado.

**Palabras clave:** ladrillo, lodo, resistencia, absorción.

## ABSTRACT

Milk production is essential in people's diets, its high content of nutrients beneficial to the body has increased the demand for its consumption. This has resulted in a large amount of waste product from the cleaning and disinfection of machinery, which is called sludge.

In this degree work, the efficiency of sludge as a partial replacement of clay in the production of bricks is evaluated.

The experimental part of the project consists of three stages, the first one starts with the search for a standard brick that meets the minimum resistance required by the NTE INEN 3049 standard, the result of which selected a brick maker in the city of Ibarra. On the other hand, a sample of residual sludge was obtained from a dairy plant in Quito.

In the second stage, a physical and chemical analysis of the soil and sludge was carried out. In order to know the properties of these materials and their benefits for construction.

The third stage consisted of the elaboration of 10 samples of bricks in dosages of 5%, 10%, 15%, 15%, 20% and 30% of partial replacement of clay by sludge. Tests were carried out to analyze the physical properties of the bricks.

The results of the tests showed that the sludge was of no benefit to the bricks, since in no dosage was the compressive strength required by the standards obtained. In addition to this, they exceed the maximum water absorption percentage.

As for the compressive strength, it was analyzed that the optimum percentage of sludge in the mixture should be 2%, so that this parameter is not affected.

**Key words:** brick, mud, strength, absorption.

## **PRESENTACIÓN**

La presente investigación consta de 7 secciones: 5 capítulos, bibliografía y anexos. A continuación, se describe el contenido de cada uno de ellos.

El capítulo 1 aborda la problemática ambiental del lodo residual y la extracción de arcilla, como solución a este problema se presenta la elaboración de mampuestos ecológicos con diversas dosificaciones para reducir el impacto en el medio ambiente.

En el capítulo 2 se explica aspectos teóricos de las aguas y lodos residuales de la planta de lácteos, antes de su disposición final. Entre ellos se abarca calidad, cantidad, composición y los tratamientos con sus respectivos diagramas de flujo. Además, se presenta la clasificación de los ladrillos según la NTE INEN 3049.

El capítulo 3 consta de los procedimientos y resultados de los ensayos, para la caracterización física y química del suelo y lodo. Por otro lado, se describe el procedimiento ejecutado por la ladrillera seleccionada para la elaboración de ladrillos. También presenta las propiedades físicas de los ladrillos con la mezcla suelo y lodo en diferentes concentraciones.

El capítulo 4 presenta un análisis e interpretación de los resultados de cada ensayo aplicado al suelo, lodo y ladrillos. Posterior a ello establece comparaciones para evaluar el comportamiento del lodo en los ladrillos. Como último punto se tiene el cálculo de lodo óptimo en la mezcla.

EL capítulo 5 muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas por la investigación, al analizar los objetivos propuestos y el alcance.

Finalmente se presenta la bibliografía utilizada y los anexos.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación analiza la eficiencia de elaborar ladrillos ecológicos, reemplazando la arcilla con diferentes proporciones de lodo, de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de una productora de lácteos.

Para posteriormente verificar las propiedades de los ladrillos, bajo parámetros de la norma NTE INEN 3049, y así poder clasificarlos y compararlos con el ladrillo patrón, para encontrar la dosificación correcta de lodo con el objetivo de conservar o mejorar sus propiedades.

El crecimiento acelerado de la tecnología, las industrias y la población traen como consecuencia un aumento de desechos, provocando un grave problema ambiental de interés global. La gestión de los lodos producto de las plantas de tratamiento de aguas residuales es un problema ineludible, por lo cual durante las últimas décadas se ha realizado extensas investigaciones, sobre la aplicación de los lodos en materiales de construcción y otros usos. Se ha encontrado soluciones dependiendo de su composición y características, por ejemplo, se utiliza como: fertilizantes, jabón, cemento, ladrillos, geopolímeros entre otros. (Cusidó & Cremades, 2012; De Carvalho Gomes et al., 2019; Eliche-Quesada et al., 2011)

Los métodos de eliminación de estos lodos son incineración o depósito en rellenos sanitarios, los cuales aumentan su tamaño debido a la gran cantidad de lodo. Estos deterioran el suelo, contaminan el agua y aire.

Del proceso de eliminación de lodos, se encarga un Gestor Ambiental certificado y calificado. El cual garantiza un menor impacto en el ambiente y para cumplir con su objetivo a cabalidad, realiza estudios periódicamente con el fin de clasificar el lodo en peligroso o no peligroso. Para posteriormente llevarlo a su destino final óptimo.



El transporte y destino final implica un costo elevado, por cumplir con la Ordenanza Metropolitana N°100 que rigen en la ciudad de Quito, caso contrario la Planta de Lácteos podría ser sancionada con una multa e incluso un cierre temporal de sus instalaciones. (Desai et al., 2016; Liew et al., 2004)

En cuanto a la arcilla es relevante investigar este tema, el proceso de extracción de la arcilla puede ser considerado uno de los factores de daño al ambiental, junto con las pérdidas en la flora y fauna del lugar. La tala de árboles ocasiona que el CO<sub>2</sub> sea liberado a la atmósfera y, por lo tanto, aumenta la temperatura del planeta y los gases de efecto invernadero. También se modifica la morfología del suelo causando su erosión. Hoy en día se evidencia la escasez de arcilla en muchas partes de mundo. La industria de los materiales de construcción se enfrenta a grandes desafíos, por tal motivo es importante buscar alternativas con materiales de desecho, para un desarrollo sostenible cuyo objetivo es reducir los daños ambientales, que se están ocasionando en el planeta. (Zhang, 2013)

Tomando en cuenta la presión social que se vive en la actualidad para conservar el planeta, la necesidad de materiales ecológicos que sean capaces de mejorar las propiedades de los productos tradicionales, y que al mismo tiempo sean económicos. Además, considerando que los lodos son residuos no peligrosos y que se encuentran en abundancia, hacen que este material sea de menor costo. Por tal motivo al emplearlo en la elaboración de ladrillos, se espera que los costos de producción bajen notablemente lo cual sería un producto económico y de calidad, esto ayudaría a que su producción crezca.

La metodología a seguir será una investigación de campo respaldada por evidencia fotográfica, visitas técnicas y entrevistas al fabricante de la Ladrillera. El objetivo es obtener información de las proporciones de arcilla y agua para la elaboración del ladrillo patrón, tiempos de secado y la temperatura promedio a la cual son cocidos.

Otra metodología que se aplica es la investigación experimental, la cual brinda apoyo por medio de ensayos para conocer las propiedades tanto físicas como químicas del lodo y la arcilla.

También se realizarán ensayos del ladrillo patrón y de los ecológicos. Con el fin de realizar una comparación y verificar la mejor combinación de materia prima, para obtener productos de calidad, económicos y amigables con el ambiente.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La eficiencia de los lodos producto de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, o Tratamiento de Agua Potable combinados con fibras de vidrio, cascarillas de arroz, aserrín o residuos de tabaco ya han sido estudiados en el Ecuador y en diferentes partes del mundo. (Demir, 2008; Görhan & Şimşek, 2013; Rahman et al., 2015)

Sin embargo, la eficiencia de los lodos de una Planta de Lácteos, aplicados en diferentes porcentajes como reemplazo a la arcilla aún no ha sido investigado. Por esta razón, la siguiente investigación comprende un desarrollo tanto cualitativo como cuantitativo, con el fin de caracterizar las propiedades físicas, así como las químicas del lodo y la arcilla siguiendo ensayos estandarizados. Posteriormente se determinará las propiedades del producto final, es decir del ladrillo compuesto de lodo en diferentes concentraciones bajo la norma NTE INEN 3049, la cual normaliza la calidad de los Ladrillos Cerámicos. Finalmente se realizará una comparación con un ladrillo tradicional.

Este proyecto de investigación tiene como propósito realizar un análisis exhaustivo, para determinar la calidad de los ladrillos y así poder clasificarlos para el uso en el cual tendría mejor desempeño aportando beneficios a la construcción.

Como consecuencia de todos los puntos mencionados anteriormente, este trabajo de investigación tiene varios beneficiarios desde un punto ecológico y económico. Se beneficiará a la planta de lácteos al reducir o eliminar el presupuesto

reservado para el destino final del lodo, y también la Ladrillera reduce su costo de producción al emplear como materia prima un elemento de desecho en abundancia.

Pero sobretodo se espera tener un producto de calidad, lo cual signifique una mayor producción y así un mayor ingreso económico. Por último, como beneficiario de este proyecto se tiene a toda la población en general, porque por más pequeña que sea la ayuda al ambiente que se pretende con esta innovación, la iniciativa del cuidado y preservación harán la diferencia en este largo camino en favor del planeta.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia del lodo producto de la planta de lácteos como reemplazo de la arcilla en la fabricación de ladrillos, mediante ensayos cumpliendo la norma NTE INEN 3049, para su utilización en mampostería.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las propiedades físicas y químicas, a través de ensayos bajo las normas ASTM para caracterizar el lodo y la arcilla y así determinar la composición del lodo para luego ser utilizado como reemplazo total o parcial de la arcilla en la fabricación de ladrillos.
- Evaluar las propiedades del ladrillo patrón y el Ecoladrillo, mediante ensayos aplicando la norma NTE\_INEN\_3049, para verificar el cumplimiento de esta.
- Determinar el porcentaje correcto de la mezcla entre el lodo y la arcilla, por medio de ensayos, para establecer su uso apropiado en la construcción.

### **1.4. ALCANCE**

La presente investigación tiene como propósito el aprovechamiento de los lodos residuales producto de una planta de lácteos, para ello se usa como suplente porcentual de la arcilla en dosificación del 5%, 10%, 15%, 20% y 30% en la elaboración de ladrillos macizos artesanales.

Para la caracterización física el lodo residual y la arcilla se aplica la norma ASTM en los siguientes ensayos: contenido de humedad, límite líquido y plástico, densidad del suelo, granulometría por tamizado y por hidrómetro. Por otra parte, para la caracterización química se usa los ensayos de Difracción de rayos X, Fluorescencia de rayos X. Cada ensayo se repite 3 veces para confirmar los resultados y así reducir cualquier riesgo de error en su ejecución.

Se realiza un análisis comparativo de la resistencia a la compresión y absorción de agua según los requerimientos por la norma NTE INEN 3049, entre los ladrillos ecológicos y el ladrillo patrón para revisar si se mantiene o mejoran dichos parámetros y de esta manera buscar su mejor uso constructivo dependiendo sus propiedades.

Mediante APUS de los costos de elaboración de cada dosificación y del ladrillo patrón, comparar si suben o bajan y que influye en ese cambio.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. PLANTA DE LÁCTEOS**

##### **2.1.1. LOCALIZACIÓN**

La planta de lácteos se dedica a procesar y comercializar productos derivados de la leche, cumpliendo a cabalidad con normas y estándares de calidad. De esta manera colabora al desarrollo económico del país y la erradicación de la desnutrición infantil. La productora de lácteos se encuentra ubicada en el Cantón Quito. (Centro de la Industria Láctea del Ecuador, 2015)

##### **2.1.2. RESEÑA HISTÓRICA**

La salud pública del país se encontraba en crisis por los altos índices de mortalidad infantil, debido a la insalubridad y la leche cruda que consumía la población (El Mercurio, 2020). Con el objetivo de trasladar la leche de los campos a las grandes ciudades, y pensando en la necesidad de productos con mayor valor nutricional para la población, surge la iniciativa de crear una empresa de lácteos que cumpla con los estándares de calidad de esa época. (Centro de la Industria Láctea del Ecuador, 2015)

En 1957 el Fondo de Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), donó equipos de pasteurización, mismos que fueron entregados al Dr. Carlos Andrade Marín, alcalde del Municipio de Quito. El Dr. Peñaherrera fue el encargado de armar dichos equipos y dos técnicos Daneses evaluaron el trabajo hecho, para que posteriormente la planta de lácteos entre en funcionamiento. (Centro de la Industria Láctea del Ecuador, 2015)

En 1960 se forma legalmente la empresa láctea con aportes económicos de más de 50 ganaderos, y con ayuda de laboratorios de parte del Municipio. Un año después sale al mercado Quiteño la primera botella de leche pasteurizada y posteriormente sus derivados como queso fresco, mantequilla, yogurt. (Centro de la Industria Láctea del Ecuador, 2015)

Fue un reto ganar territorio entre la población debido al desconocimiento del nuevo producto ofertado. El mayor desafío con el transcurso de los años ha sido entender y adaptarse a las necesidades y exigencias de sus consumidores, para ello han innovado en maquinaria dando como resultado productos de calidad. Aparte de eso promueven por medio de campañas el cuidado del ambiente reciclando sus envases para elaborar muebles escolares y posteriormente donarlos. (Ekos, 2020)

Desde 1969 el envase de la leche pasteurizada ha ido evolucionando, con el fin de brindar un producto más higiénico que se conserve sin necesidad de refrigeración. (El Mercurio, 2020)

### **2.1.3. PRODUCCIÓN**

El consumo de leche por día es de 5,2 millones de litros. El consumo per cápita anual es de 95 litros y el propósito es llegar a 150 litros, el cual aún se encuentra por debajo del mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud que es de 180 litros anuales. Según los datos que se encuentran en el Centro de la Industria Láctea del Ecuador la gente con poder adquisitivo consume 200 litros anuales, mientras que la gente que no lo tiene, solo 30 litros por año. (W. Torres, 2019)

Por cuatro años consecutivos la marca que pertenece a esta planta láctea fue elegida como la N° 1 del Ecuador, según un estudio mundial “Brand Footprint”. Además, en el 2020 ocupó el tercer lugar en la canasta de consumo masivo, siendo la única marca ecuatoriana en el ranking. (Sanmartín, 2020)

A la empresa láctea ingresa diariamente 280 000 litros de leche según el Gerente de Mercadeo. (El Mercurio, 2020; Gurumendi, 2020)

Es importante recalcar que los productos expedidos por la planta de lácteos, son elaborados cumpliendo normas de calidad como la ISO 9001:2015, normas de Buenas Prácticas de Manufactura y las normas de Inocuidad. Además, esta fábrica cuenta con un laboratorio con acreditación ISO 17025, el cual califica la leche cruda que ingresa. (Sanmartín, 2020)

La planta láctea ofrece una amplia variedad de productos como: leche entera, descremada, semidescremada, deslactosada, crema de leche, leches saborizadas, yogures, avena, queso, mantequillas entre otras. (Ekos, 2020)

## **2.2. AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son el producto de diversas actividades del ser humano, cuyos residuos contiene gran cantidad de sustancias y microorganismos que alteran la calidad del agua, la cual requiere un tratamiento previo para reutilizarla o descargarla al sistema de alcantarillado. (M. E. García et al., n.d.; Organismo De Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014)

Los desechos líquidos producto de procesos industriales como producción, limpieza y desinfección de maquinaria son denominados aguas residuales industriales. La calidad de agua depende de la composición de los productos químicos utilizados, los cuales determinan el tipo de tratamiento a seguir antes de mezclarse con aguas residuales provenientes de instalaciones sanitarias. (Asaduzzaman, 2018; Carrera et al., 2019)

La actividad industrial dedicada a la elaboración de quesos, yogurt, manjar, helados y otros derivados de la leche, generan residuos lácteos los cuales poseen un elevado contenido de grasas, nitrógeno y fósforo, clasificándolos como un tipo de contaminante orgánico. Además, la materia orgánica aumenta por diversas razones como aseo de equipos, fugas o derrames de materia prima la cual en exceso es negativa para los cuerpos de agua. (Paca, 2017)

En el “*Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*” (TULSMA), se encuentra la norma para Descarga de efluentes al sistema de alcantarillado. En dicho texto se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratamiento hacia el sistema público de alcantarillado, provenientes del lavado o mantenimiento de vehículos, envases con sustancias tóxicas, elementos que pudieran bloquear los colectores como por ejemplo piedras, textiles, plásticos, cemento, petróleo, aceites vegetales y animales entre otros. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Además, en el Texto antes mencionado se pone a disposición la Tabla 2.1, con los valores máximos permitidos de diferentes componentes antes de la descarga. (Ministerio del Ambiente, 2015)

**Tabla 2.1**

*Límites de descarga al Sistema de Alcantarillado Público*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Ci nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcuri o (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Piomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)



### 2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características de las aguas residuales son el resultado confiable de la medición de caudal y determinación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos del elemento. (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### 2.2.1.1. Calidad

La calidad de las aguas residuales industriales en la planta láctea está compuesta por los parámetros mostrados en la Tabla 2.2. En la misma se realiza una comparación con los indicadores establecidos en el acuerdo ministerial 097 del TULSMA, evidenciando la falta de tratamiento previo, ya que en el caso de que no se cumpla, las multas serán económicas o la suspensión temporal de las actividades.

**Tabla 2.2**

*Análisis del Agua Residual*

Parámetro	Unidades	Resultado	Valor de la norma	Cumplimiento
Aceites y Grasas	mg/L	41,7	70	Cumple
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	<1,1	NA	
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/L	1296	250	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2190	500	No Cumple
Fósforo Total	mg/L	24,6	15	Cumple
Hierro	mg/L	<0,25	25	
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,75	NA	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	>1000	NA	
Sólidos Suspendidos	mg/L	671	220	No Cumple
Sólidos Totales	mg/L	>2000	1600	No Cumple

Fuente: (Planta de lácteos, 2021)

#### 2.2.1.2. Cantidad

La productora de lácteos cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual funciona las 24 horas todos los días. A esta ingresan diariamente  $230m^3$  de agua residual industrial, exclusivamente del lavado de las máquinas y tuberías que transportan la materia prima para la fabricación de leche, yogurt, quesos y mantequilla.

## 2.2.2. PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación, se detalla el proceso necesario para separar el lodo del agua residual. El objetivo es que el lodo y agua tratada cumplan con las normas ambientales y de esta manera se reduzca el impacto ambiental.

### 2.2.2.1. Pretratamiento u Operaciones Preliminares

El pretratamiento es un conjunto de operaciones destinadas a remover todo tipo de sólidos gruesos, pesados y livianos. Así como ajuste del pH. (Ministerio del Ambiente, 2015)

El pretratamiento consiste en:

#### Rejas

Toda el agua residual industrial llega a las rejas, que funciona como una trampa de grasa encargada de retirar la capa gruesa formada en la superficie de agua, cuyo volumen es más evidente en la elaboración de mantequilla.

#### Fotografía 2.1

*Trampa de grasas*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

## Tanque Homogenizador

La sosa cáustica se encarga de formar jabón al entrar en contacto con la grasa, y junto con el peróxido de hidrógeno se obtiene espuma para su respectivo lavado. La sosa cáustica aumenta el pH por encima de 12, a lo cual se añade ácido nítrico en el tanque homogenizador para bajar el nivel de pH a un rango entre 6 a 9. Es necesario contar con el pH adecuado para que la planta pueda operar en condiciones óptimas.

### Fotografía 2.2

*Tanque homogenizador*



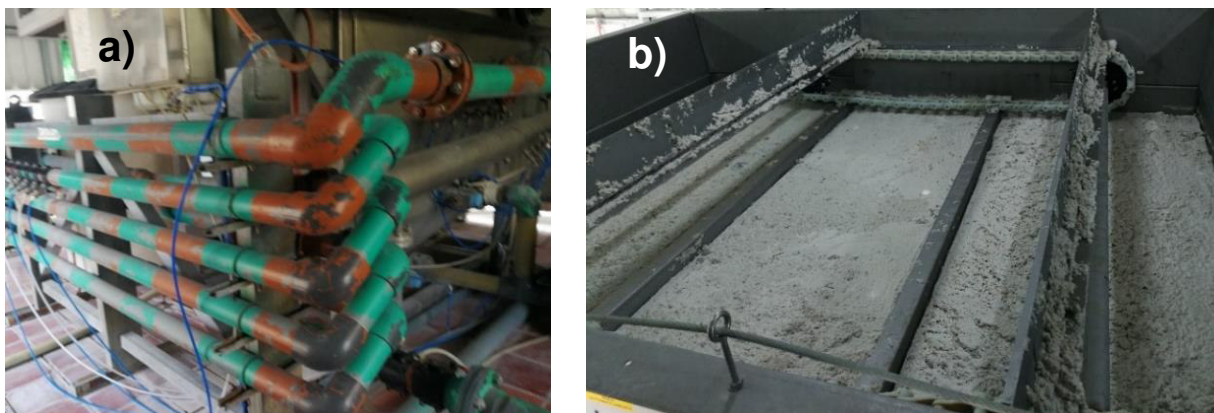
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

## Flotación

El agua con el pH óptimo se conduce hasta el sistema DAF (Fotografía 2.3 a), en el que se inyecta el floculante y coagulante. Se bombea micro burbujas, mientras más pequeñas es mejor porque elevan todos los sólidos a la superficie, finalmente se paletea toda la masa acumulada (Fotografía 2.3 b). Este proceso controla DBO, DQO, aceites y grasas. El agua residual llena el contorno del tanque DAF y por rebose esta pasa a los bioreactores.

### Fotografía 2.3

#### Sistema DAF



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 2.2.2.2. Tratamiento Primario

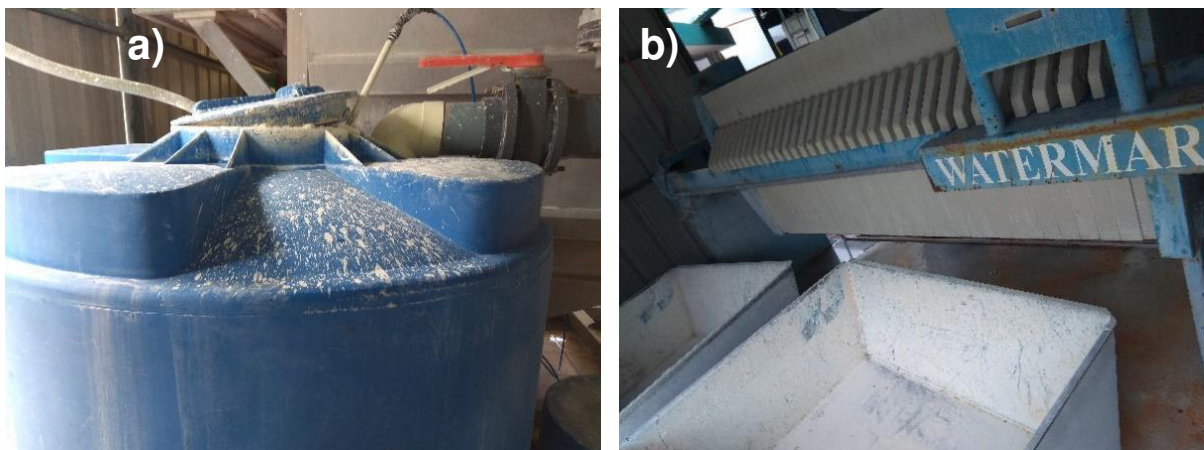
El tratamiento primario usa procesos físicos con el objetivo de retirar sólidos sedimentables y flotantes del agua residual, así como remover en un pequeño porcentaje la materia orgánica. (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### **Sedimentación Primaria (Sólidos en suspensión- Lodos)**

El residuo obtenido del paleteo se deposita en un tanque en el cual se adiciona cal (Fotografía 2.4 a), este material se incorpora debido a que la grasa se escurre si se intenta compactar, y además la cal neutraliza el mal olor proveniente del alto contenido de materia orgánica. La mezcla se dirige al filtro prensador (Fotografía 2.4 b) donde se retira el agua obteniendo de esa forma un lodo en estado seco con un contenido de humedad del 40%.

## Fotografía 2.4

*Adición de Cal y Filtro prensadora*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 2.2.2.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario emplea procesos biológicos y/o químicos para generar un crecimiento en los microorganismos para que sean capaces de consumir la materia orgánica de las aguas residuales. (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### **Bioreactor – Reactor Biológico**

El agua es redirigida a los dos bioreactores o biodigestores, aquí se adicionan bacterias las cuales comen los pocos residuos restantes de grasa, de esta manera se disminuye el DBO y DQO. En los bioreactores se encuentran paneles en forma de nido de abeja, a las cuales se adhieren las bacterias. Cuando terminan de cumplir su función mueren y forman flóculos que retornan al filtro prensa en forma de lodos. La aireación es esencial para el crecimiento bacteriano de los microorganismos aeróbicos, la presencia de estos da el color verdoso al agua. El tiempo aproximado que el agua recibe el tratamiento en el bioreactor es de un día, su capacidad es de  $150m^3$  cada uno. El agua residual producto del rebose de los bioreactores pasa a la etapa final.

## Fotografía 2.5

### *Bioreactor*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### **2.2.2.4. Tratamiento Terciario**

El tratamiento terciario es un proceso adicional para remover nutrientes y realizar desinfección del agua antes de la descarga. (Ministerio del Ambiente, 2015)

#### **Desinfección**

El agua llega al tanque en el cual se coloca la dosificación apropiada de cloro, se verifica que la calidad de agua se encuentre en óptimas condiciones previo a su descarga al alcantarillado. Este paso se realiza para eliminar cualquier bacteria o microorganismo que pudiera haber quedado y también para cumplir con parámetros visuales, ya que es más confiable ante el color verde que sale del bioreactor. El agua sale cristalina, sin embargo, no es apta para consumo humano, pero si para riego y lavado externo.

#### **2.2.3. RESULTADO AGUA TRATADA**

El agua tratada es el resultado de una serie de tratamientos aplicados al agua residual, para cumplir parámetros de calidad exigidos por las autoridades sanitarias. (Centro de Asesoría Laboral del Perú(CEDAL), 2005)

**Tabla 2.3***Análisis del Agua Tratada*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valor de la norma</b>	<b>Cumplimiento</b>
Aceites y Grasas	mg/L	<0,1	70	Cumple
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	<1,1	NA	
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/L	108	250	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	183	500	Cumple
Fósforo Total	mg/L	2,8	15	Cumple
Hierro	mg/L	<0,25	25	
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,07	NA	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	>1000	NA	
Sólidos Suspendidos	mg/L	<30	220	Cumple
Sólidos Totales	mg/L	1636	1600	No Cumple

Fuente: (Planta de lácteos, 2021)

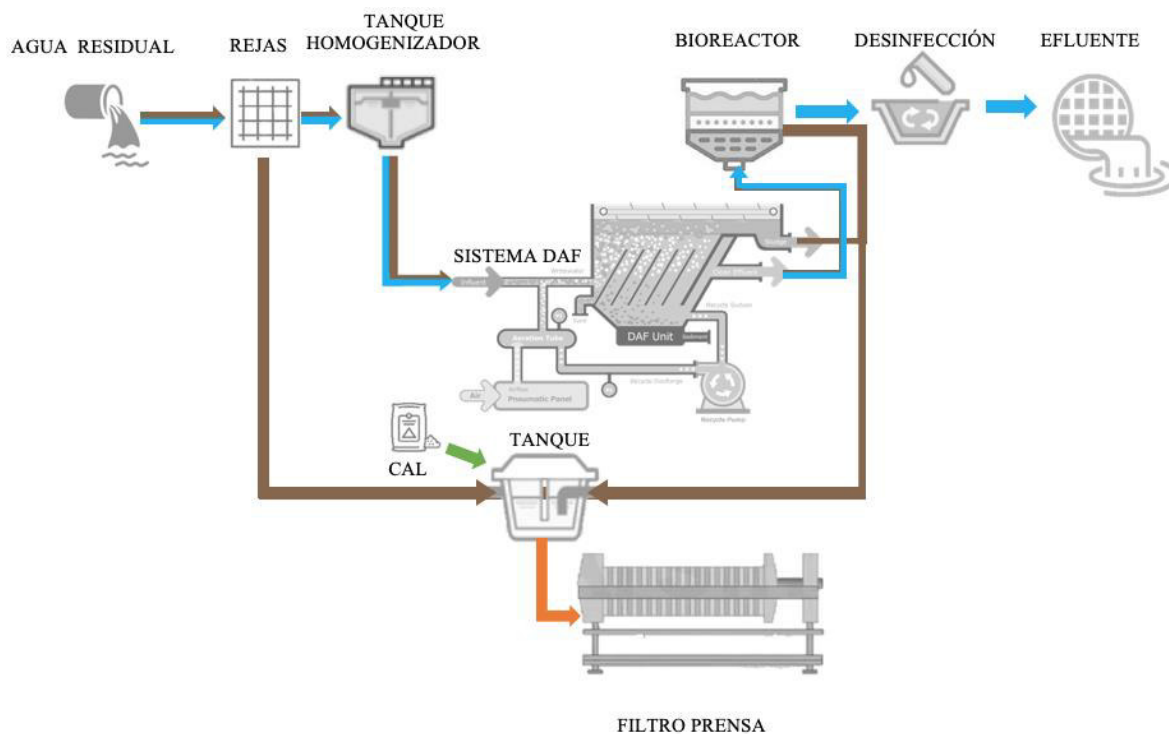
En la Tabla 2.3 se evidencia que las cantidades se redujeron en un 92% luego del tratamiento del agua residual. Los análisis se realizan cada 6 meses y los resultados se envían al Ministerio del Ambiente y Agua (MAE), entidad encargada de la regulación, control y seguimiento del impacto ambiental que provocan muchas empresas. Como se puede observar en la Tabla 2.3 los valores son muy pequeños, con lo cual cumple el TULSMA así el cuerpo hídrico recibe menos contaminación.

#### **2.2.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

A continuación, se describe de manera didáctica el proceso de tratamiento del agua residual ejecutado en la planta de lácteos, de la cual se obtuvo el lodo residual para la elaboración de los ladrillos. En la Figura 2.1 se diferencia dos tipos de flechas, la primera de color celeste es el agua tratada y la flecha color café es el lodo residual.

**Figura 2.1**

*Diagrama del Proceso del Tratamiento de Aguas Residuales*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 2.3. LODOS

Los lodos residuales son un subproducto de un proceso físico-químico y biológico que se lleva a cabo en las plantas de tratamiento, se utiliza microorganismos descomponer los residuos orgánicos presentes. El alto contenido de grasas, proteínas y carbohidratos lo clasifican como un residuo sólido complejo. (Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEA), 2013; López et al., 2010)

Los microorganismos crecen y mediante aireación se mezclan formando flóculos, la agrupación de estos crea una masa microbiana activa denominada "lodo activado". El termino activado hace referencia a la capacidad que presenta el lodo para metabolizar la materia orgánica presente en el residuo (Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEA), 2013). La eficiencia del tipo de tratamiento de agua residual y la carga contaminante presente en el agua determinarán la cantidad y calidad del lodo. (Calderón, 2018)



Se usó la “Norma Oficial Mexicana, Protección Ambiental. – Lodos y Biosólidos. -Especificaciones y Límites máximos permisibles de contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición Final” (NOM-004-SEMARNAT-2002) para analizar los parámetros. En dicha norma recalca la importancia de verificar la peligrosidad de lodo antes de su uso. Y presenta una serie de parámetros (Tabla 2.4) para comprobar la cantidad de sus componentes para su respectiva clasificación tomando en consideración todos estos puntos se puede evaluar la posibilidad de su aprovechamiento. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México (SEMARNAT), 2002)

**Tabla 2.4**

*Límites máximos permisibles para Metales Pesados en Biosólidos*

<b>CONTAMINANTE (determinados en forma total)</b>	<b>EXCELENTES mg/kg en base seca</b>	<b>BUENOS mg/kg en base seca</b>
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México (SEMARNAT), 2002)

### 2.3.1. LÍNEA DE LODOS

La línea de lodos es una guía de los tratamientos para concentrar los sólidos contenidos en el efluente y así obtener lodo residual. (Alianza por el Agua, 2014; Amador et al., 2015)

Los lodos primarios son la aglomeración de las partículas más densas retenidas en el sedimentador primario, alrededor del 70% son materia orgánica por ese motivo entra en descomposición rápidamente. (E. Valdez & Vázquez, 2003)

### **2.3.1.1. Espesamiento**

Se elimina un porcentaje del agua contenida en el lodo para agruparlos y reducir su volumen. La eficiencia de este proceso garantizará la optimización de recursos económicos. Para lograr esto se puede usar espesamiento por gravedad, flotación o centrifugación. (Alianza por el Agua, 2014; E. Valdez & Vázquez, 2003)

### **2.3.1.2. Estabilización**

Se reduce gran parte de los sólidos orgánicos con el objetivo de disminuir patógenos, eliminar olores y demorar la putrefacción. Entre las formas más comunes de estabilización se encuentran las siguientes (Alianza por el Agua, 2014; E. Valdez & Vázquez, 2003):

- Digestión aerobia o anaerobia: los microorganismos se acondicionando a temperatura y cantidad de oxígeno adecuado dependiendo de su condición aerobia o anaerobia, con el propósito de eliminar alrededor del 50% del material biodegradable. (Alianza por el Agua, 2014)
- Estabilización química: impide el desarrollo de microorganismos para retardar la descomposición de la materia orgánica y así evitar olores desagradables. esto se logra al agregar cal la cual a su vez también eleva el pH. (Alianza por el Agua, 2014)
- Tratamiento térmico: las condiciones de temperatura y presión elevan causando una disminución del 35% de los sólidos suspendidos. (Amador et al., 2015)

### **2.3.1.3. Acondicionamiento**

Se adicionan productos químicos para aglomerar las partículas y así eliminar una gran cantidad de agua para obtener eficiencia en la deshidratación. (Alianza por el Agua, 2014; Amador et al., 2015)

#### 2.3.1.4. Deshidratación

Se realiza un proceso adicional para liberar una fracción de agua contenida en el lodo, transformándolos en sólidos manejables y transportables. Entre los métodos de deshidratación se tiene los siguientes: centrifugación, filtros banda, secado térmico, eras de secado. (Alianza por el Agua, 2014)

#### 2.3.1.5. Disposición final

El lodo residual es almacenado en sacos los cuales son cocidos para evitar dispersiones. Cada semana se recoge aproximadamente 9 toneladas las cuales son transportadas directamente hacia el relleno sanitario asignado por el Municipio de Quito.

#### **Fotografía 2.6**

*Almacenamiento del lodo residual*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 2.3.2. COMPOSICIÓN DEL LODO

#### 2.3.2.1. Lodo residual sin tratar

A continuación, se detalla la composición del lodo antes de ser mezclada con cal y además se realiza una comparación con la norma NOM-004-SEMARNAT.

**Tabla 2.5***Análisis del Lodo Residual sin Tratar*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valor de la norma</b>	<b>Cumplimiento</b>
Arsénico	mg/kg	0,2	75	Cumple
Bario	mg/kg	<50	NA	
Cadmio	mg/kg	<1	85	Cumple
Cromo Total	mg/kg	<15	3000	Cumple
Mercurio	mg/kg	<0,3	840	Cumple
Plomo	mg/kg	<20	4300	Cumple
Selenio	mg/kg	<0,25	NA	
Plata	mg/kg	<5	NA	

Fuente: (Planta de lácteos, 2021)

Como se puede visualizar en la Tabla 2.5, el lodo se encuentra apto para ser depositado en un relleno sanitario, sin embargo, debido a que hay que controlar los malos olores y reducir el volumen, se toma la decisión de mezclarlo con cal.

**2.3.2.2. Lodo residual tratado**

En la siguiente Tabla 2.6 se presenta el análisis del lodo tratado junto con su comparación de los límites máximos permisibles según la norma NOM-004-SEMARNAT.

**Tabla 2.6***Análisis del Lodo Residual Tratado*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valor de la norma</b>	<b>Cumplimiento</b>
Arsénico	mg/kg	0,1	75	Cumple
Bario	mg/kg	>500	NA	
Cadmio	mg/kg	1,9	85	Cumple
Cromo Total	mg/kg	15,6	3000	Cumple
Mercurio	mg/kg	<0,3	840	Cumple
Plomo	mg/kg	<20	4300	Cumple
Selenio	mg/kg	<0,25	NA	
Plata	mg/kg	<5	NA	

Fuente: (Planta de lácteos, 2021)

Es evidente que los valores son muy inferiores a los permisibles, con lo cual se puede observar que el daño ambiental es mínimo en cuanto a contaminación del entorno del relleno sanitario.

### 2.3.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÍNEA DE LODOS

En el siguiente esquema se encuentran los tratamientos aplicados al lodo para reducir su volumen, controlar olores, evitar que sea peligroso y así poder desecharlo en un relleno sanitario o aprovecharlo como material de construcción y abono dependiendo de sus características.

#### Figura 2.2

*Diagrama de flujo de la Línea de Lodos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 2.3.4. APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

Los residuos industriales generan grandes cantidades de biosólidos como resultado de un tratamiento de aguas residuales. La implementación de estos desechos en la fabricación de ladrillos como reemplazo parcial de la arcilla ha traído grandes beneficios en el sector de la construcción en el nivel económico y ambiental. (Yagüe et al., 2002)

Se ha investigado aplicaciones en la construcción como, por ejemplo:

Uno de los compuestos para los ladrillos es la arcilla misma que fue reemplazada en un 10% por los lodos residuales de una planta de tratamiento de agua potable la cual incidió de manera directa en la resistencia a la compresión y otras

características físico químicas del elemento estructural. (P. Torres et al., n.d.; Yagüe et al., 2002)

La innovación en el múltiple uso de los lodos residuales ha generado ventajas en la elaboración de componentes constructivos en base a los biosólidos producto del tratamiento de aguas residuales de una papelera. Las características de su materia prima como fibras de madera, papel, gomas entre otros ha permitido la elaboración de paneles pre fabricados mejorando su costo, versatilidad y reduciendo el peso sobre las estructuras existentes. (Quinchía et al., 2007)

Las características físicas mecánicas de residuos de una industria de mármol permiten evidenciar una buena resistencia a la compresión al igual que la evolución de la retracción la cual al mezclarse con filler callizo poseen la capacidad de elaborar hormigones autocompactantes. (P. Valdez et al., 2011)

## 2.4. LADRILLOS

Los ladrillos son productos cerámicos que se elaboran de varias formas y tamaños, se utilizan comúnmente para construir paredes. Sus diseños varían dependiendo su construcción o sus funciones a desempeñar en obra ya sea estructural o arquitectónica. Su origen presenta la misma antigüedad que la civilización y se utiliza en todo tipo de construcciones como hornos, pisos, casas, edificios, bodegas, paisaje urbano, carreteras, puentes, entre otros. (INEN 3049, 2018)

Según la NTE INEN 3049 en la parte 1, las dimensiones del ladrillo cerámico se definen como:

**Altura:** Dimensión vertical del ladrillo, tomando en cuenta cómo se va a colocar en el muro.

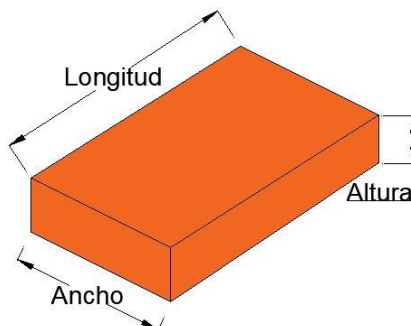
**Ancho:** Dimensión horizontal del ladrillo perpendicular a la alineación, esto es igual al espesor del muro.

**Longitud:** Dimensión horizontal del ladrillo en el sentido de la alineación, generalmente esta es la mayor con respecto a las otras dimensiones.

Se presenta la siguiente Figura 2.3 para mejor visualización de las dimensiones.

**Figura 2.3**

*Partes del ladrillo cerámico*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

## 2.4.1. MATERIAS PRIMAS

### 2.4.1.1. Arcilla

La arcilla es la materia prima fundamental para la fabricación de ladrillos y tejas. Su composición química y mineralógica afecta directamente a las propiedades de los productos cerámicos. La arcilla contiene silicio, alúmina, cal, hierro, manganeso, azufre y fósforo (Mamlouk & Zniwski, 2006). La composición idónea de la arcilla para obtener un ladrillo de calidad son dióxido de sílice  $SiO_2$  entre el 64,1 – 83,1%, óxido de aluminio  $Al_2O_3$  entre el 1,6 – 27,1% y de trióxido de dihierro entre  $Fe_2O_3$  3,0 – 6,1 %. (N. García et al., 2013)

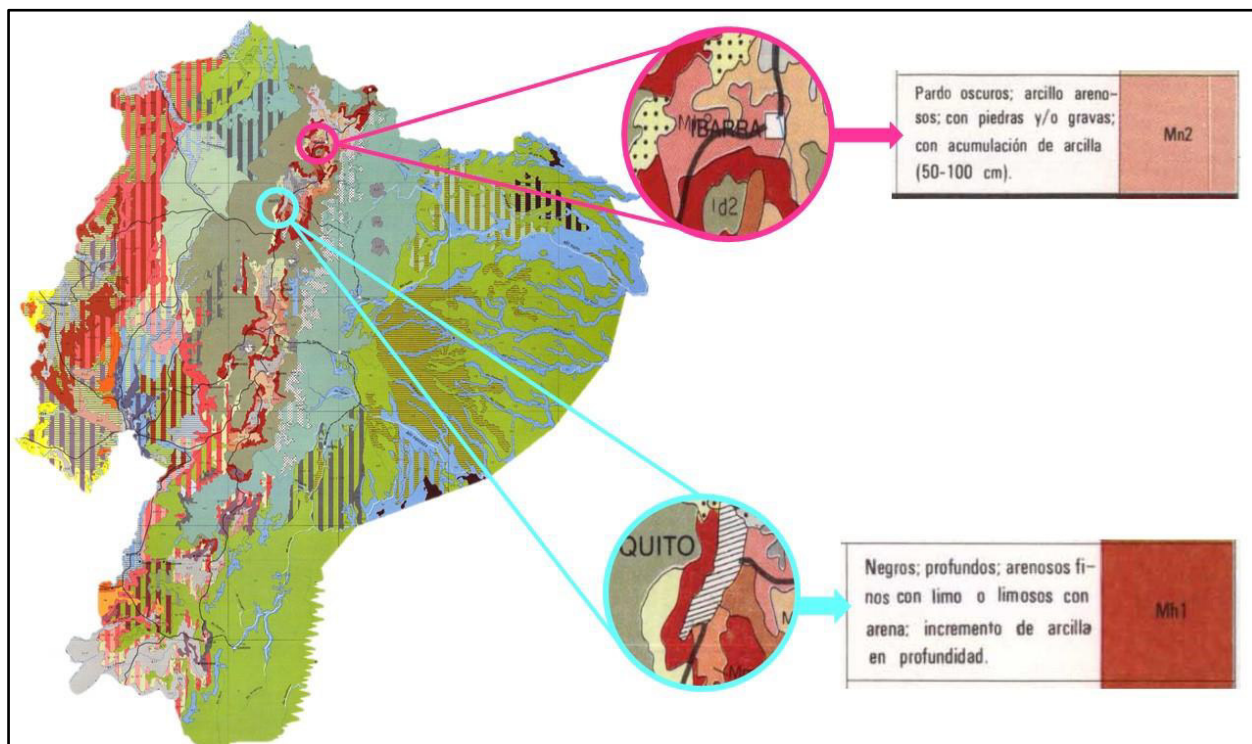
Sus características principales son: la plasticidad, la cual al mezclarla con agua se convierte en una masa muy moldeable. Y el comportamiento frente al calor, al someter el producto de arcilla a temperaturas alrededor de 1000°C durante un periodo largo provoca cambios físicos en la densidad, porosidad, tenacidad y plasticidad, así como cambios químicos en su composición y estructura cristalina. De esta manera adquiere propiedades como alta resistencia y aislante térmico. (Polanco et al., 2015)

A lo largo de las investigaciones realizadas sobre el uso de lodos residuales se han obtenido valores de resistencias como, por ejemplo, la resistencia a la compresión

de ladrillos artesanales de varias tesis realizadas en Quito además cabe recalcar que la arcilla usada fue extraída de zonas muy cercanas a las ladrilleras. “*Utilización de lodos de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa Franz Viegner F.V.- Área Andina S.A para la elaboración de ladrillos artesanales*” el resultado del ladrillo artesanal tradicional sin lodo fue de 3,11 MPa, se realizó en Conocoto (Cachago & Caguano, 2016). En la tesis “*Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe* (Camargo & Yambay, 2020)” el ladrillo patrón tenía resistencia de 3,01 MPa y se elaboró en el sector La Ecuatoriana. Mientras que en la tesis “*Análisis de la Re-Valorización de biosólidos de la PTAR, El Peral, Ambato, para insumos de mampostería*” el ladrillo patrón fue de 14,77 MPa y se fabricó en Ibarra (Cuti & Urbina, 2018).

#### Figura 2.4

Mapa general de Suelos del Ecuador



Fuente: (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986)

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021



Tomando en cuenta que las propiedades de la arcilla influyen en la calidad del ladrillo, así como los resultados de resistencia a la compresión de las tesis antes mencionadas junto con la (Figura 2.4) se puede concluir que el suelo predominante en la ciudad de Quito es Mollisol los cuales son suelos minerales ricos en carbón orgánico con alta fertilidad. Udolls es un subgrupo del suelo antes mencionado, su característica principal es que siempre permanecen húmedos. Hapludolls es un subtipo de suelo con depósitos coluviales de diversos materiales cenizas y/o mezclas de grava, piedras, arenas, conglomerados. Son suelos propios de climas Frío húmedos, tienen un pH ligeramente ácido. Como conclusión en Quito se tiene suelos arenosos limosos los cuales no son aptos para la elaboración de ladrillos y como evidencia de ello se tiene las bajas resistencias en las ladrilleras del sector, con lo cual no se recomienda usar este material.

En la ciudad de Ibarra se tiene un tipo de suelo Mollisol con un subgrupo Ustolls cuya característica es estar entre semihúmedas y secas con presencia de sequías. De esta clase de suelo se desprende el Argiustolls con depósitos aluviales de diversos materiales cenizas y/o mezclas de grava, piedras, arenas, conglomerados. Estos suelos son de climas Templados secos el pH es ligeramente alcalino. Finalmente se concluye que en Ibarra hay suelos arcillo arenosos y esto se corrobora con la resistencia del análisis realizado en dicha ciudad. Por lo cual este tipo de suelo es el apropiado para la elaboración de ladrillos de calidad.

#### **2.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS SEGÚN LA NTE INEN 3049**

A continuación, se presentan las definiciones de los ladrillos que se encuentran clasificados en la norma NTE INEN 3049.

##### **2.4.2.1. Según su tipo**

**Ladrillos estructurales:** Son ladrillos diseñados para resistir la construcción de muros estructurales con el objetivo de soportar cargas adicionales a su peso propio.

**Ladrillos no estructurales:** Ladrillos que por su diseño y resistencia no se recomienda construir mampostería estructural ya que no son capaces de soportar cargas adicionales a su peso propio.

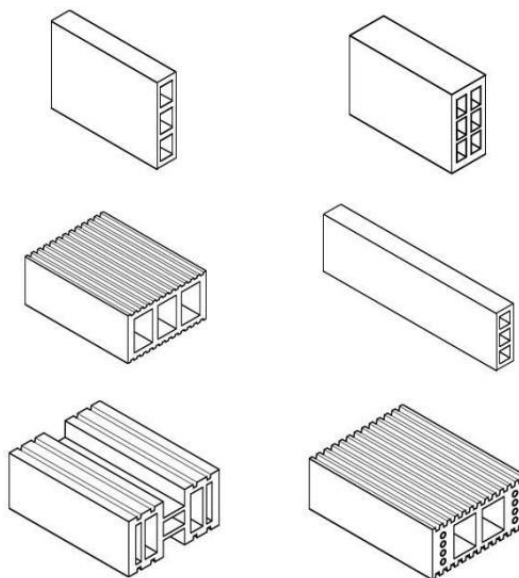
**Ladrillos de fachada o caravista:** Ladrillos pequeños que son aptos para construir muros de fachada con ladrillos a la vista gracias a sus características de color, acabado y durabilidad pueden ser expuestos a la intemperie.

#### 2.4.2.2. Según la disposición de sus perforaciones y volumen

**Ladrillos de perforación horizontal (PH):** Las perforaciones se encuentran paralelas a la cara en que se coloca en el muro. El aligeramiento máximo puede ser de 75% de la sección bruta.

**Figura 2.5**

*Ejemplos de unidades de perforación horizontal (PH)*



Fuente: (INEN 3049, 2018)

**Ladrillos de perforación vertical (PV):** La ubicación de las perforaciones en relación con la cara en que se coloca en el muro de manera perpendicular. El área de perforaciones no debe superar el 75% del área bruta.

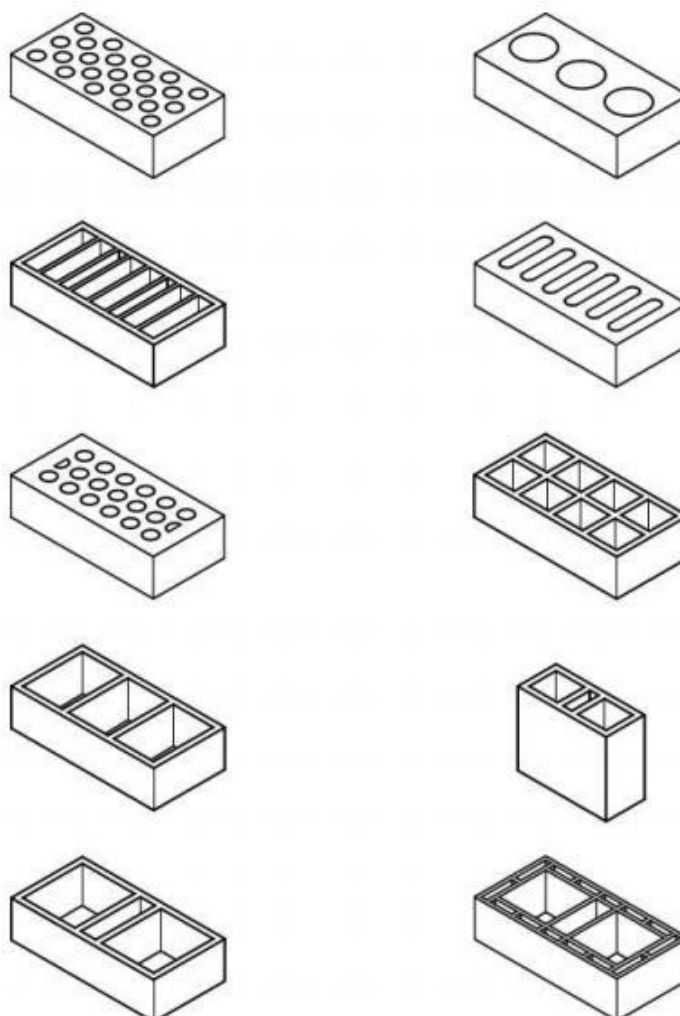
La siguiente clasificación corresponde solo a los ladrillos estructurales:

**Clase I:** Se aplica en mampostería estructural en los que se necesitan mayores resistencias y espesores de pared.

**Clase II:** Se utiliza en las que se requiere resistencias y espesores de paredes moderados.

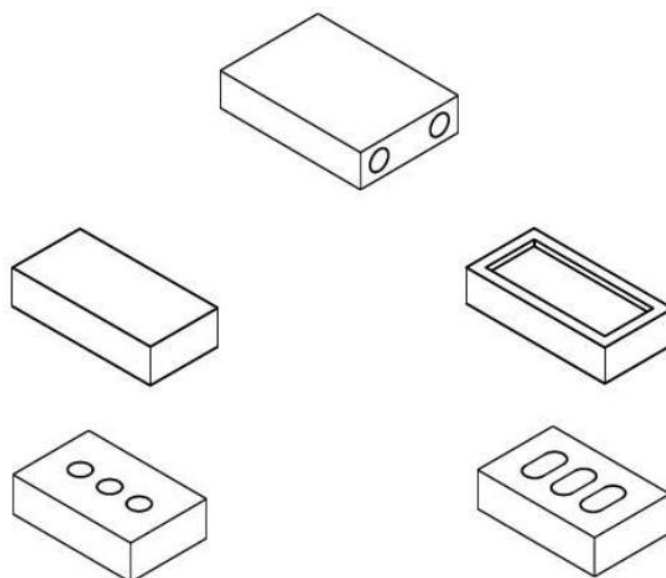
**Figura 2.6**

*Ejemplos de unidades de perforación vertical (PV)*



Fuente: (INEN 3049, 2018)

**Ladrillo macizo:** Unidad de ladrillo cerámico en forma de prisma rectangular. Los ladrillos macizos pueden tener perforaciones de hasta un 25% de su masa para aligerar su peso.

**Figura 2.7***Ejemplos de unidades macizas (M)*

Fuente: (INEN 3049, 2018)

Según la norma INEN 3049, los ladrillos cerámicos son ordenados por su utilidad como se muestra en la siguiente Tabla 2.7.

**Tabla 2.7***Clasificación de ladrillos cerámicos*

<b>Tipo</b>	<b>Disposición de sus perforaciones y volumen</b>
Estructural	Perforación horizontal (PH) Perforación vertical (PV) Clase I Clase II Macizas (M)
No Estructural	Perforación horizontal (PH) Perforación vertical (PV) Macizas (M)
Fachadas	Perforación horizontal (PH) Perforación vertical (PV) Macizas (M)

Fuente:(INEN 3049, 2018).

### 2.4.2.3. Otras clasificaciones

Además, de la clasificación que se presenta en la norma NTE INEN 3049 se encuentra los siguientes tipos de ladrillos tomando en cuenta la ubicación que estas piezas ocuparán en el muro y características más arquitectónicas.

**Ladrillo hueco:** Ladrillos aligerados entre un 25% y un 65% de su masa.

**Ladrillos terminales o esquineros:** Ladrillos de perforación vertical los cuales se usan en las esquinas o al final de los muros con el objetivo de evitar perforaciones a la vista y también para mejorar el aislamiento térmico del muro.

**Ladrillos arquitectónicos:** Piezas especiales por su forma, acabado o dimensiones, se usa en zócalos, cornisas, sillares etc.

**Ladrillos divisorios:** Elementos usados en las paredes interiores es decir para las subdivisiones de áreas además estas no soportan cargas adicionales a las de su propio peso.

Se debe tomar muy en cuenta el diseño estructural que se va a realizar en la edificación, porque de ello depende la elección del ladrillo considerando el uso que se le vaya a dar y el comportamiento que se quiere obtener. Para cumplir con este objetivo es necesario diseñar con la norma sismo resistente del país.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

El suelo de análisis corresponde al sector El Tejar en la ciudad de Ibarra, lugar donde se encuentra ubicado el taller de ladrillos en el cual se elaboró los mampuestos. La caracterización de cada material es esencial para comprender la resistencia y demás propiedades del producto final en este caso del ladrillo.

##### **3.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS**

Las propiedades físicas son características visibles, medibles e inalterables, que describen la esencia de un elemento (Braja M. Das, 2011). Los ensayos para determinar estas propiedades fueron realizados en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR).

###### **3.1.1.1. Contenido de Humedad**

Se define como la relación entre la masa de agua atrapada en los poros del suelo y la masa sólida de las partículas del suelo, se expresa en porcentaje. (ASTM D2216-19, 2019)

Para realizar este ensayo, fue necesaria la guía de la norma ASTM D2216-19 en la cual se encuentran muchos parámetros como materiales, equipos, pasos, cálculos entre otros. Es de esta manera que el procedimiento ejecutado fue el siguiente:

- 1) Identificar el código del recipiente y encerrar la balanza para registrar la masa del recipiente vacío, este debe estar limpio y seco previamente.
- 2) Colocar el material húmedo en el recipiente, aproximadamente 50 g en una balanza de lectura de 0,01 g.

- 3) Registrar el valor de la muestra húmeda más la masa del recipiente vacío (Fotografía 3.1 a).
- 4) Poner en un recipiente el espécimen húmedo, posteriormente colocar al horno de secado durante una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C.
- 5) Dejar secar el espécimen por aproximadamente 24 h hasta una masa constante, luego se retira el recipiente del horno.
- 6) Luego se permite que el espécimen y el recipiente se enfríen a temperatura ambiente hasta que este se pueda manejar cómodamente con las manos desnudas.
- 7) Registrar la masa del recipiente y el espécimen secado en el horno utilizando la misma balanza usada durante todo el procedimiento de este ensayo (Fotografía 3.1 b).
- 8) Utilizar el Método A el cual dice que el contenido de humedad se registra al 1% más cercano.
- 9) Reemplazar los datos en la siguiente ecuación, tomando en cuenta las unidades.

$$w\% = \left[ \frac{M_{cms} - M_{c ds}}{M_{c ds} - M_c} \right] * 100\% = \frac{M_w}{M_s} * 100\%$$

Donde:

$w$  : Contenido de humedad, %

$M_{cms}$ : Masa del recipiente + Suelo húmedo, g

$M_{c ds}$ : Masa del recipiente + Suelo secado al horno, g

$M_c$ : Masa del recipiente, g

$M_w$ : Masa del agua, g

$M_s$ : Masa del suelo seco, g

### Fotografía 3.1

*Contenido de Humedad del suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

La siguiente Tabla 3.1 detalla los datos y el resultado del ensayo, para lo cual se usó la fórmula antes descrita. El ensayo se realizó por duplicado para verificar que los dos sub resultados no tengan una variación significativa entre ellos y así verificar que no se cometió errores en la ejecución.

**Tabla 3.1**

*Contenido de Humedad del Suelo*

Prueba N°	Peso recipiente (g)	Peso recipiente + Suelo húmedo (g)	Peso recipiente + Suelo seco (g)	Humedad (%)
1	9,89	60,42	45,81	41,67
2	9,30	60,10	45,54	40,18
		<b>Promedio (g)</b>		<b>41</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 3.1.1.2. Granulometría

##### 3.1.1.2.1. Granulometría por tamizado

La Granulometría por tamizado es un método aplicado para separar por rangos las partículas de suelo que retiene el tamiz N°200, luego se cuantifica la masa de cada rango. Dichos valores se unen para indicar la distribución de tamaño de las partículas. (ASTM D6913/D6913M-17, 2017)



El procedimiento que se llevó a cabo es el descrito en la norma ASTM D6913 / D6913M - 17. A continuación, se detallan los pasos seguidos para la ejecución del ensayo.

- 1) Pesar y registrar un recipiente en una balanza encerada y posterior a ello pesar una muestra de suelo equivalente a 47 g.
- 2) En el recipiente con la muestra agregar agua potable hasta cubrir el suelo y dejar remojar por 5 minutos. Posteriormente mezclar con una espátula evitando degradar las partículas y verificar que el suelo se encuentre disperso.
- 3) Colocar el tamiz N°40 y debajo de este el tamiz N° 200. Sobre el tamiz N° 40, verter la muestra dispersada evitando derrames, además con ayuda de una pisseta lavar el recipiente en el que se encuentra la muestra con esto se asegura de tener todo el material en el tamiz (Fotografía 3.2 a).
- 4) Lavar la muestra usando el grifo con un chorro constante, pero a baja velocidad para evitar que las partículas salgan del tamiz. Continuamente verificar que el tamiz N° 40 no se encuentre obstruido, también con ayuda de la mano se manipular ligeramente el material contra las paredes del tamiz, pero sin ejercer presión sobre la tela del tamiz. Cuando se observa obstrucción de las aberturas del tamiz se da golpes suaves con la mano al costado del tamiz (Fotografía 3.2 b).
- 5) Al evidenciar que el material del tamiz N°40 se encuentre limpio se retira este tamiz. Continuar lavando el material del tamiz N° 200 hasta lograr observar que el agua que lo atraviesa este limpia. Lavar la muestra para eliminar finos (Fotografía 3.2 c).
- 6) Pesar y registrar un recipiente, posteriormente colocar el material retenido de los dos tamices, incluyendo el material del lavado de las paredes de los tamices con ayuda de una pisseta con agua en pequeñas cantidades. Pesar el recipiente con el agua y el suelo luego meter en un horno a 110 °C durante 24 horas. Al final del secado sacar el recipiente del horno, dejar enfriar y registrar el peso del material seco (Fotografía 3.2 d).

**Fotografía 3.2**

*Lavado de la muestra de suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 7) Ensamblar una pila de los tamices siguiendo el siguiente orden de forma descendente N°4, N° 10, N° 20, N°40, N°60, N°100, N°140, N° 200 y Bandeja (Fotografía 3.3 a).
- 8) Verter el material seco y lavado en la parte superior de la pila de tamices y las partículas que se queden en el recipiente remover suavemente con un cepillo de esta manera se asegura de no tener ni derrames ni desperdicios al no provocar polvo. Luego tapar el tamiz superior y agitar manualmente de forma horizontal y dando círculos sobre una franela durante 20 minutos (Fotografía 3.3 b).
- 9) Retirar la tapa del juego de tamices y con mucho cuidado retirar el tamiz superior, el material retenido en este se lleva a un recipiente de masa previamente conocida.

- 10) Registrar el peso del material del tamiz anterior con la balanza encendida y colocar el material retenido del siguiente tamiz. De esta manera se pesa y registrar el material de cada tamiz incluyendo la bandeja.
- 11) Al final del proceso se verifica que el peso del material ya tamizado acumulado no varíe en más del 1% con referencia al peso inicial de la muestra lavada y en estado seco.

### Fotografía 3.3

*Tamizado del suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Las únicas fórmulas empleadas para los cálculos, son de contenido de humedad, porcentajes y sumas acumuladas.

Antes de comenzar con el cálculo de porcentajes se debe corregir el peso inicial del suelo. Considerando que este suelo se encuentra húmedo, se procedió a despejar el peso del suelo seco ( $W_s$ ) de la fórmula de contenido de humedad ( $W\%$ ) recordando que este tipo de suelo tiene 41% de humedad y que el peso húmedo se representa como ( $W_h$ ),

$$Ws(g) = \frac{Wh}{1 + \frac{W\%}{100}}$$

**Tabla 3.2***Granulometría por Tamizado del Suelo*

Peso Inicial (g)		47,76	Peso Corregido (g)		33,87
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	0,02	0,06	0,06	99,94
N° 20	0,85	0,1	0,30	0,35	99,65
N°40	0,425	0,32	0,94	1,30	98,70
N° 60	0,25	1,55	4,58	5,88	94,13
N°100	0,15	2,08	6,14	12,02	87,98
N°140	0,106	1,5	4,43	16,44	83,56
N°200	0,075	1,44	4,25	20,70	79,30
Bandeja		26,86	79,30	100	0
<b>Total</b>		<b>33,87</b>			

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Con los resultados se procede a realizar la gráfica semilogarítmica con el objetivo de tener un mejor panorama de cómo están distribuidas las partículas de suelo. Los coeficientes de curvatura (Cc) y de uniformidad (Cu) no fueron posible calcularlos debido a que, como se puede observar en la Gráfica 3.1 alrededor del 80% son partículas entre 0,425 y 0,075mm por lo tanto, los porcentajes inferiores se ven sin material pasante.

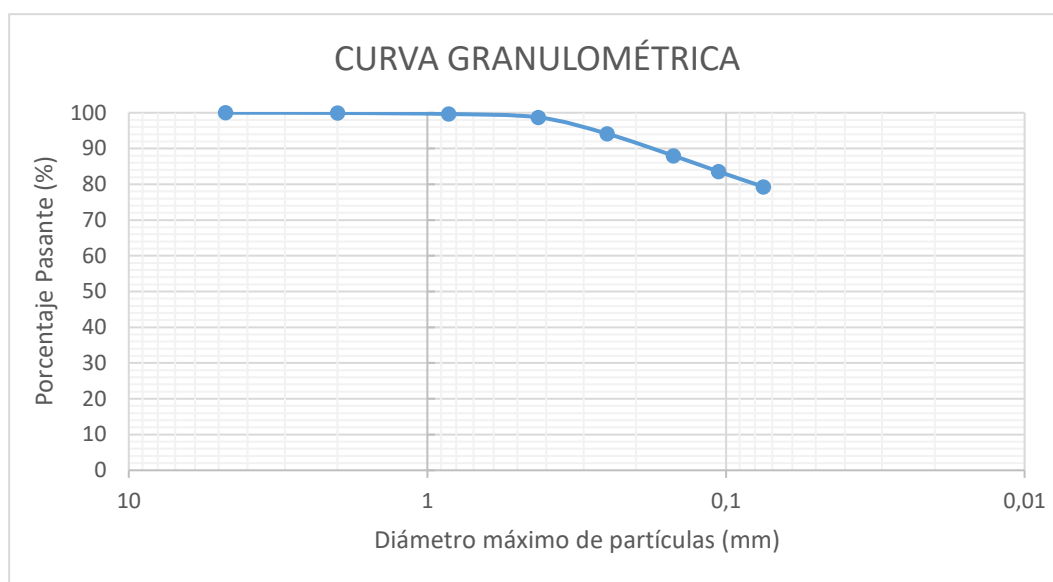
Finalmente se procede a calcular los porcentajes de la distribución de las partículas, tomando en cuenta la Tabla 3.2 y considerando la siguiente descripción para cumplir con el objetivo de este paso.

- Se obtiene el porcentaje de Grava para ello se resta el porcentaje que pasa el tamiz N°4 del 100% con cual dio un valor de 0% de grava.

- El porcentaje de Finos está determinado por el porcentaje pasante del tamiz N°200 el cual es del 79%.
- Para conocer el porcentaje de Arenas, del 100% se resta %Grava y % Finos, de esta manera el suelo contiene un 21% de Arena.

### Gráfica 3.1

*Curva Granulométrica del Suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 3.1.1.2.2. Granulometría por hidrómetro

Es un método complementario de la Granulometría por Tamizado, enfocado a la determinación de distribución de tamaños de partículas finas que pasan el tamiz N° 200. Se usa un hidrómetro para medir la densidad del fluido, determinar cantidad y posición de partículas en momentos específicos. (ASTM D7928-17, 2017)

Como referencia para realizar este ensayo se tomó los criterios establecidos en la norma ASTM D 7928-17, con los cuales se siguió los siguientes pasos:

- 1) Pasar el suelo seco a través del tamiz N°10 y tomar una masa equivalente a 65 g (Fotografía 3.4 a).

- 2) Para preparar la solución se agregan 5 g de hexametáfosfato de sodio y 100 ml de agua en un vaso de precipitación de 250 ml. Luego colocar el vaso en un agitador de dispersión orbital y un imán dentro. Hasta visualizar que los cristales se hayan disuelto por completo (Fotografía 3.4 b).
- 3) Colocar la solución y la muestra de suelo en un matraz Erlenmeyer de 250ml luego tapar y dejar durante 24 horas (Fotografía 3.4 c).

### Fotografía 3.4

*Preparación de la muestra y solución de suelo y lodo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 4) Para la corrección por temperatura se usa una tabla en función de la densidad del agua a diferentes temperaturas.
- 5) Para determinar la corrección por menisco  $C_m$  introducir el hidrómetro limpio y seco dentro de un cilindro lleno de agua con 5 g de dispersante hasta los 1000ml, sujetar del tallo y bajar lentamente hasta una profundidad en la que flote.
- 6) Registrar de la parte superior del menisco la lectura donde el plano de la superficie del agua se cruza con el tallo del hidrómetro. Finalmente observar la diferencia de las lecturas, este valor es  $C_m$ .

### Fotografía 3.5

*Corrección por menisco*



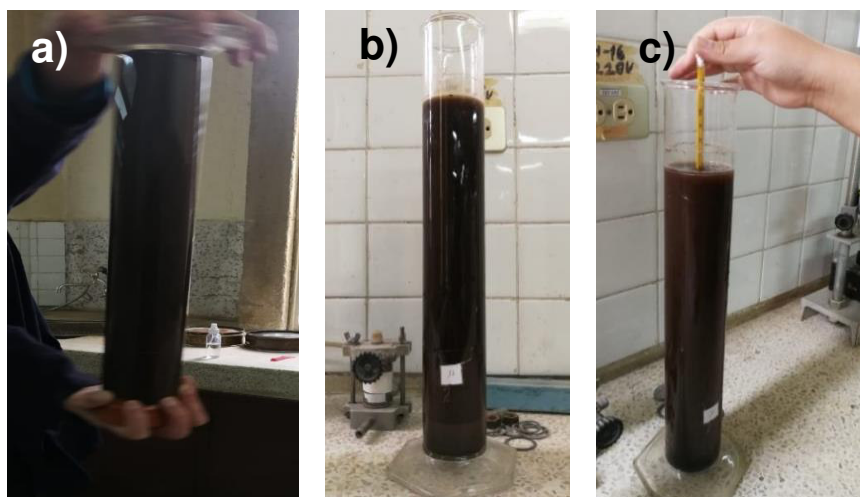
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 7) Verter la lechada en el cilindro de sedimentación y agregar agua hasta antes de la marca de aforo. Después colocar un tapón de goma dando giros en la boca del cilindro para que se este se apriete y no riegue la lechada.
- 8) Utilizar el método de volcado o inclinación, colocar una mano en el tapón y la otra en la base del cilindro. Luego, girar  $180^\circ$  durante un minuto. Para no perder material usar una pisseta para lavar las partículas que se queden en el tapón y en las paredes del cilindro y se añadir el agua hasta llegar a los 1000 ml. Dejar en una superficie plana, estable y libre de movimientos (Fotografía 3.6 a).
- 9) Inicializar el cronómetro desde que se asienta el cilindro de sedimentación en el mesón. Tomar las lecturas del hidrómetro a los 1, 2, 4, 15, 30, 60, 240 y 1440 minutos.
- 10) Con 20 segundos antes de la lectura introducir lentamente el hidrómetro en el cilindro de sedimentación y soltar solo cuando se sentía que flotaba, se espera hasta que se estabilice el hidrómetro para poder tomar la lectura correcta (Fotografía 3.6 b).

- 11) Después sacar suavemente el hidrómetro para no provocar remoción de la lechada y colocar en un cilindro de sedimentación con agua.
- 12) Inmediatamente luego de sacar el hidrómetro, introducir el termómetro en la lechada y tomar la temperatura al 0,5 °C más cercano. Para los primeros tiempos tomar la temperatura solamente a los 15 minutos y se repite el dato (Fotografía 3.6 c).

### **Fotografía 3.6**

*Preparación de la lechada de suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 13) Una vez que ya se obtiene todas las lecturas, se transferir la lechada a una serie de tamices N°40 y N°200 sin perder material en el cilindro de sedimentación. Luego lavar el material hasta que el agua que atraviese cada uno de los tamices se vea limpia y transparente (Fotografía 3.7 a).
- 14) Pesar y registrar un recipiente después verter el suelo lavado sin perder partículas y llevar a horno por aproximadamente 24 horas (Fotografía 3.7 b).
- 15) Sacar del horno y dejar enfriar. Luego apilar los tamices de la siguiente manera N°4, N° 10, N° 20, N°40, N°60, N°100, N°140, N° 200 y Bandeja y verter la muestra seca al horno, agitar de manera circular durante 20



minutos. Por último, encerrar el recipiente en la balanza, pesar y registrar lo que retiene cada tamiz (Fotografía 3.7 c).

### Fotografía 3.7

*Lavado y Pesaje de la muestra de suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

16) Usar las siguientes fórmulas para los respectivos cálculos:

#### Profundidad efectiva

$$H_m = H_{r2} + \left( \frac{(H_{r1} - H_{r2})}{(r_2 - r_1)} \times (r_2 - r_m + C_m) \right) - \left( \frac{V_{hb}}{2A_c} \right)$$

Donde:

$H_m$ : Distancia de las partículas que caen, lectura m cuando el hidrómetro se inserta solo para una lectura individual, cm

$V_{hb}$ : Volumen del bulbo del hidrómetro hasta la base del vástago,  $cm^3$

$A_c$ : Área de la sección transversal del cilindro de sedimentación,  $cm^2$

$H_r$ : Distancia entre el centro de flotabilidad y las lecturas mínima ( $H_{r2}$ ) y máxima ( $H_{r1}$ ) del hidrómetro, cm

$r_m$ : Lectura del hidrómetro en suspensión, g/L

$C_m$ : Corrección de menisco, g/L

$r$ : La lectura mínima ( $r_2$ ) y máxima ( $r_1$ ) del hidrómetro, g/L

### Diámetro máximo de partículas en suspensión

$$D_m = \left( \sqrt{\frac{18\mu}{\rho_w g (G_s - 1)} \times \frac{H_m}{t_m}} \right) \times 10$$

Donde:

$D_m$ : Diámetro de partícula, mm

$\mu$ : Viscosidad del agua, g/cm.s

$\rho_w$ : Densidad del agua, g/cm<sup>3</sup>

$g$ : Gravedad, 980.7 cm/s<sup>2</sup>

$G_s$ : Gravedad específica del suelo

$t_m$ : Tiempo transcurrido de caída, s

$H_m$ : Distancia de caída de partícula, cm

### Peso pasante (%)

$$N_m = 0,6226 \times \left( \frac{G_s}{G_s - 1} \right) \times \left( \frac{V_{sp}}{M_d} \right) (r_m - C_t) \times \left( \frac{100}{1000} \right)$$

Donde:

$V_{sp}$ : Volumen de suspensión, cm<sup>3</sup>

$M_d$ : Masa de suelo seco de la muestra, g

$C_t$ : Corrección por temperatura

La siguiente Tabla 3.3 dispone de datos obtenidos en el laboratorio y constantes encontradas en tablas. Para la densidad y viscosidad del agua se consideró la temperatura de 16°C.

**Tabla 3.3***Datos ensayo Granulometría por Hidrómetro del Suelo*

<b>Peso Inicial Seco (g)</b>	65,72
<b>Pasante tamiz N° 200</b>	78,6
<b>Tipo de Hidrómetro</b>	H152
<b>Corrección por Menisco</b>	1
<b>Cantidad de NaPO3 (g)</b>	6,25
<b>Hr1 (cm)</b>	174
<b>Hr2 (cm)</b>	94
<b>r1 (g/L)</b>	0
<b>r2 (g/L)</b>	50
<b>Vhb (cm3)</b>	67
<b>Ac (cm2)</b>	27,8
<b>u (g/cm.s)</b>	0,99895
<b>Densidad agua (g/cm3)</b>	0,01109
<b>Gs</b>	2,44
<b>Vsp (cm3)</b>	1000
<b>Ct</b>	-1

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

**Tabla 3.4***Tabla granulométrica de gruesos del Suelo*

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Porcentaje Acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje Pasante (%)</b>
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	0	0,00	0,00	100,00
N° 20	0,85	0,32	0,49	0,49	99,51
N°40	0,425	0,7	1,07	1,55	98,45
N° 60	0,25	3,01	4,58	6,13	93,87
N°100	0,15	4,32	6,57	12,71	87,29
N°140	0,106	3,08	4,69	17,39	82,61
N°200	0,075	2,62	3,99	21,38	78,62
Bandeja		51,67	78,62	100	0
<b>Total</b>		<b>65,72</b>			

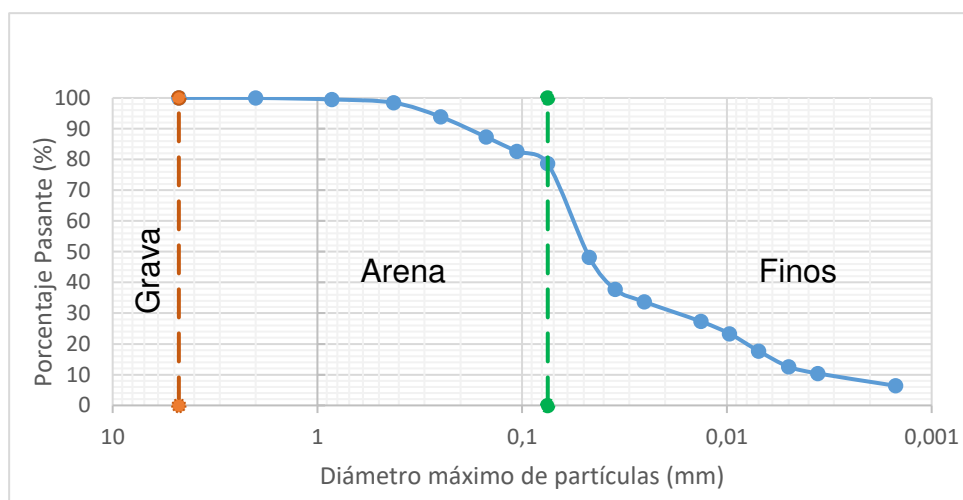
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

**Tabla 3.5***Tabla granulométrica de finos del Suelo*

Tiempo (min)	Temperatura $T_t$ (°C)	Caída Efectiva $H_m$ (cm)	Diámetro $D_m$ (mm)	Peso Pasante $N_m$ (%)	
1	38,00	16	10,38	0,047	48,2
2	31,5	16	11,55	0,0351	37,7
4	29	16	12	0,0253	33,7
15	25	16	12,72	0,0134	27,3
30	22,5	16	13,17	0,0097	23,3
60	19	16	13,8	0,007	17,7
120	16	16	14,34	0,005	12,6
240	14,5	16	14,61	0,0036	10,4
1440	12	16	15,06	0,0015	6,4

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

En este ensayo se realizó la granulometría completa, el primer cálculo fue obtener las Tablas 3.4 y 3.5 correspondientes a partículas gruesas y partículas fino por separado. Luego con toda la información recolectada se realizó la Gráfica 3.2 y se delimitó los componentes del suelo, para observar las partículas predominantes.

**Gráfica 3.2***Curva Granulométrica Completa del Suelo*

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### **3.1.1.3. Límites de Atterberg**

Conocidos también como Límites de Consistencia, se basa en que un suelo fino dependiendo de su composición y cantidad de agua puede presentar los siguientes estados: límite líquido, límite plástico y límite de contracción. (ASTM D4318-17e1, 2017)

#### **3.1.1.3.1. Límite Líquido**

Determina el contenido de humedad en porcentaje, que indica el cambio de estado del suelo de líquido a plástico. (ASTM D4318-17e1, 2017)

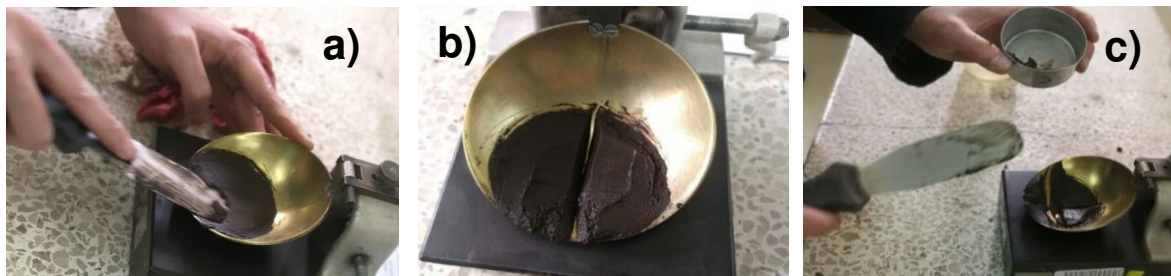
Siguiendo la norma ASTM D4318-17e1, se tomó como guía para efectuar el procedimiento basado en el Método B o Método de un punto usando el suelo en su estado natural de humedad:

- 1) Disgregar la muestra a través del tamiz N° 40 para posteriormente poner 50 g de este material en un recipiente.
- 2) Colocar agua en pequeñas cantidades usando una piseta y con ayuda de una espátula se mezclar hasta lograr una consistencia blanda y homogénea capaz de requerir de 20 a 30 golpes en la Copa de Casagrande para cerrar la ranura.
- 3) Para conservar la humedad de la mezcla se cubrir el recipiente con una toalla húmeda.
- 4) Calibrar la copa de Casagrande ajustando la altura de caída igual a 10 mm, para lo cual colocar la cabeza del ranurador plano justo en el punto de contacto entre la taza y la base.
- 5) Mantener la calibración y girar la manivela hasta escuchar un leve sonido de timbre y verificar que la copa no se eleve.
- 6) Usando una espátula, colocar una porción de la mezcla preparada en la copa en el parte donde la taza toca la base, apretar y extender hacia abajo hasta lograr en su punto más bajo una profundidad de aproximadamente 10 mm, posteriormente enrasar para formar una superficie horizontal (Fotografía 3.8 a) y se limpiar las partículas que se queden en los bordes de la copa.

- 7) Formar una ranura por la mitad de la copa, arrastrar la punta biselada del ranurador plano de plástico a través de la muestra de arriba hacia abajo con mucho cuidado, para evitar que se deslice el suelo.
- 8) Sin sostener la Copa Casagrande girar la manivela a una velocidad de 2 golpes por segundo, contar el número de golpes hasta el cierre de la ranura en ambos lados en la parte inferior a lo largo de 13 mm, si se cierra de un solo lado repetir el proceso debido a una burbuja de aire en la pasta (Fotografía 3.8 b).
- 9) Anotar el número de golpes hasta cerrar la ranura.
- 10) Pesar la cápsula y registrar. Posteriormente colocar en la cápsula una porción de suelo correspondiente a la zona de cierre de la ranura asegurarse de coger de ambos lados y de un ancho igual al de la espátula (Fotografía 3.8 c).

### **Fotografía 3.8**

#### *Límite Líquido del Suelo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 11) Regresar el material sobrante de la copa al recipiente en el cual se prepara la mezcla. Lavar y secar la copa y el ranurador plano, antes de realizar el siguiente tanteo.
- 12) Determinar el peso correspondiente a la cápsula más la muestra de suelo húmeda para posteriormente continuar con el procedimiento del cálculo del contenido de humedad. Este paso realizar inmediatamente concluido el ensayo para no alterar el contenido de humedad real de la muestra.

- 13) Una vez que se encuentra todo el material en el recipiente, volver a mezclar y colocar una nueva porción de muestra. Después repetir los pasos del 3 al 12. Repetir el paso hasta lograr tener una diferencia de 2 golpes entre el primer y segundo tanteo.
- 14) Fórmula para el cálculo del límite líquido.

$$LL = w_n \cdot \left(\frac{N_n}{25}\right)^{0,121}$$

Donde:

**LL:** Límite Líquido de un punto para el ensayo dado, %

**$N_n$ :** Número de golpes que provocan el cierre de la ranura para una prueba determinada.

**$w_n$ :** Contenido de humedad para el ensayo dado, %

- 15) El límite líquido es el promedio de las dos pruebas, redondear al entero más cercano

**Tabla 3.6**

*Límite Líquido del Suelo*

Prueba N°	N° Golpes	Peso recipiente (g)	Peso recipiente + Suelo húmedo (g)	Peso recipiente + Suelo seco (g)	Humedad (%)	LL (%)
1	23	10	17,12	14,98	42,97	42,54
2	21	10,02	17,56	15,3	42,8	41,91
<b>Promedio</b>						<b>42</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Se realizó por duplicado el ensayo para comprobar la veracidad de los resultados. Primero se obtuvo el contenido de humedad de cada muestra con la fórmula descrita en el apartado 3.1, seguido de eso se aplicó la ecuación de límite líquido considerando el número de golpes de cada prueba. Finalmente se calcula el promedio entre los dos subtotaes y se redondea al entero más cercano (Tabla 3.6).

### 3.1.1.3.2. Límite Plástico

El Límite Plástico es el contenido de humedad en porcentaje, en el que el suelo cambia su estado de plástico a semisólido. (ASTM D4318-17e1, 2017)

Para realizar este ensayo se siguió el proceso detallado en la norma ASTM D4318-17e1 siguiendo los pasos del Procedimiento 1 el cual corresponde al enrollado manual a, se describe lo realizado.

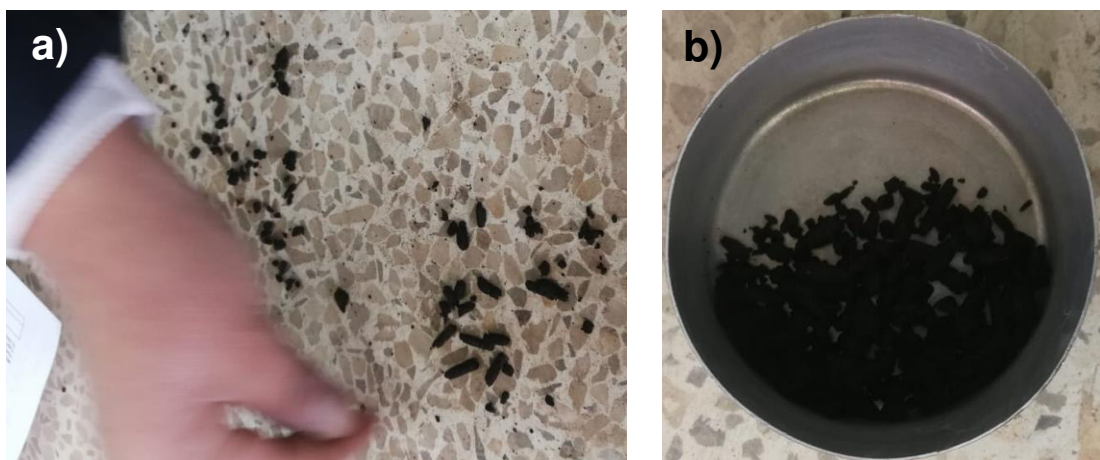
- 1) Tomar 20 gr del material que atraviesa el tamiz N°40 y colocar en un recipiente para posteriormente realizar la mezcla.
- 2) Mojar la muestra de suelo con agua y moldear hasta que esta se pueda enrollar sin pegarse en las manos.
- 3) A partir de la mezcla hecha, seleccionar 2 gr para formar una elipse.
- 4) Rodar la masa seleccionada entre la palma, con las yemas de los dedos y una placa de vidrio esmerilado moldear la masa hasta obtener un cilindro uniforme en toda su longitud y con un diámetro igual a 3,2 mm y 10 cm de longitud.
- 5) Al lograr tener el diámetro de 3,2 mm, romper en varias piezas el hilo. Amasar las piezas entre los dedos pulgar e índice para formar una elipse y posteriormente volver a enrollar en la placa de vidrio.
- 6) Juntar, amasar y rodar hasta obtener una forma cilíndrica de 3,2 mm de diámetro luego se agriete y rompa en segmentos superiores a 3,2 mm (Fotografía 3.9 a).
- 7) Colocar los pedazos del hilo en un recipiente pesado con anterioridad y cubrir inmediatamente el recipiente para evitar que este pierda humedad.
- 8) Repetir los pasos del 3 al 7 hasta lograr tener pedazos acumulados que tenga una masa igual a 6 gr (Fotografía 3.9 b).
- 9) Con el objetivo de tener dos recipientes de este ensayo repetir los pasos del 3 al 8.
- 10) Por último, calcular el contenido de humedad de las dos muestras siguiendo los pasos de la norma ASTM D2216-19 ya descritos en la presente tesis.



- 11) Calcular el promedio del contenido de humedad y redondear al entero más cercano a esto se conoce como Límite plástico.

### Fotografía 3.9

#### Límite Plástico del Suelo



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

En la Tabla 3.7 se encuentran los resultados del ensayo de Límite Plástico.

### Tabla 3.7

#### Límite Plástico del Suelo

Prueba N°	Peso recipiente (g)	Peso recipiente + Suelo húmedo (g)	Peso recipiente + Suelo seco (g)	Humedad (%)	LP (%)
1	9,43	16,68	15,25	24,57	25
2	9,89	16,14	14,91	24,5	25
<b>Promedio</b>					<b>25</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 3.1.1.3.3. Índice de Plasticidad

Indica el rango en el cual el suelo es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación de volumen significativa y sin agrietamiento o desmoronamiento, además, es conocido como la diferencia entre el límite líquido y plástico de un suelo. (ASTM D4318-17e1, 2017)

$$IP = LL - LP$$

Donde:

**LL**: Límite Líquido (número entero)

**LP**: Límite Plástico (número entero)

#### 3.1.1.3.4. Límite de Contracción

Es el contenido de humedad medido en porcentaje, en el cual el suelo cambia de estado semisólido a sólido, es decir no experimenta cambio del volumen ante la pérdida de humedad. (Braja M. Das, 2011)

$$LC = \frac{50 * LP}{50 + IP}$$

**LP**: Límite Plástico (número entero)

**IP**: Índice de Plasticidad (número entero)

#### 3.1.1.3.5. Índice de Contracción

$$IC = LP - LC$$

**LP**: Límite Plástico (número entero)

**LC**: Límite de Contracción (número entero)

Estos estados o límites indican el comportamiento de los suelos finos, mismos que permiten diferencias entre una arcilla y un limo. Todos los resultados de límites (Tabla 3.8) representan la cantidad de agua que necesitan las partículas finas para cambiar de estado. Los índices bajos muestran a un suelo sensible al contacto con agua mientras que un índice alto requiere gran cantidad de agua para cambiar de un estado a otro.

**Tabla 3.8**

*Límites de Atterberg del Suelo*

LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	IC (%)
42	25	17	19	6

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 3.1.1.4. Densidad de Sólidos

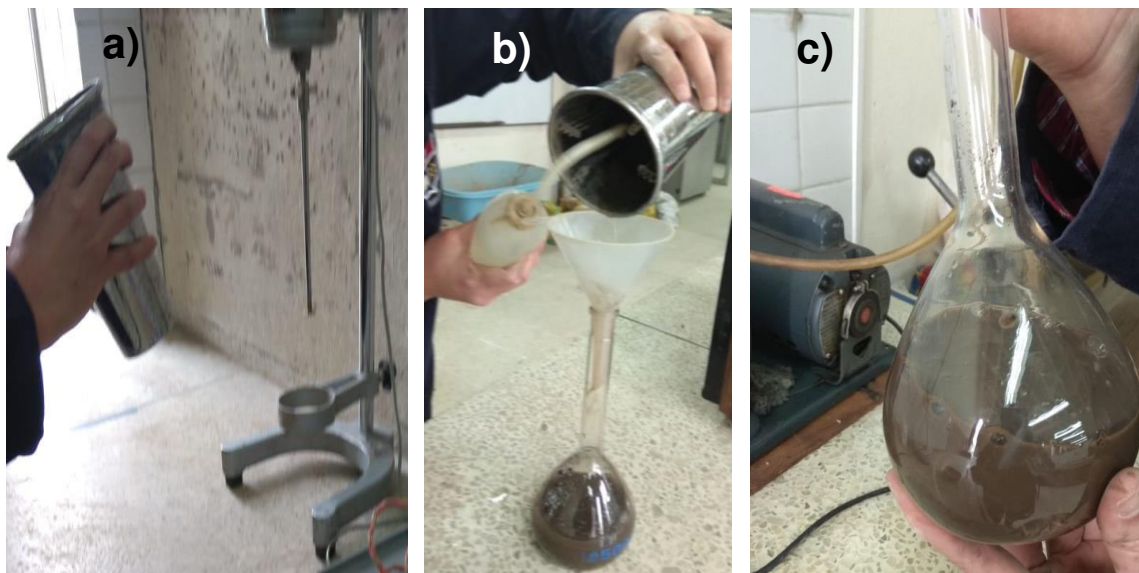
Este ensayo determina la gravedad específica del suelo que pasa el tamiz N<sup>o</sup>4, para ello se establece una comparación de la densidad de una sustancia con otra de referencia, estas deben tener condiciones iguales de temperatura y presión. (ASTM D854-14, 2014)

El siguiente procedimiento fue basado en la norma ASTM D 854-14 los pasos del Método A el cual es para suelos húmedos y aplicando Vacío para remover el aire.

- 1) Tomar una porción de suelo húmedo igual a 50 g, el cual primero pase a través del tamiz N<sup>o</sup> 40.
- 2) En una mezcladora de dispersión colocar la muestra de suelo con 100 ml de agua luego mezclar hasta lograr una lechada uniforme (Fotografía 3.10 a).
- 3) Con ayuda de un embudo verter la lechada en el picnómetro de 500 ml y usando una piseta escurrir las partículas que quedan en el embudo y las paredes del cuello del picnómetro (Fotografía 3.10 b).
- 4) Añadir agua hasta  $\frac{1}{2}$  de la altura del cuerpo principal del picnómetro. Agitar para tener una nueva lechada homogénea y escurrir las partículas que se queden en las paredes.
- 5) Agitar constantemente la lechada con el objetivo de tener las partículas en suspensión durante todo el proceso de deaireación al aplicar vacío con una bomba por 10 minutos, este proceso provoca burbujas (Fotografía 3.10 c).

**Fotografía 3.10**

*Preparación de la muestra para la Densidad de sólidos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 6) Llenar con agua el picnómetro un poco antes de la marca de calibración y conectar a la bomba para deairear nuevamente por 10 minutos más (Fotografía 3.11 a).
- 7) Llenar con agua el picnómetro hasta la marca de calibración (Fotografía 3.11 b).
- 8) Pesar el picnómetro con la lechada y registrar, a este dato se lo representa como  $(M_{pws,t})$ , usar la misma balanza de todo el ensayo con una precisión de 0,01 g.
- 9) Tomar la temperatura con precisión de 0,1 °C de la lechada luego registrar este valor.
- 10) Determinar y registrar la masa de un recipiente, posteriormente verter la lechada y con ayuda de agua asegurándose que todas las partículas estén en el recipiente (Fotografía 3.11 c).

**Fotografía 3.11**

*Aplicación de vacío y pesaje de la lechada deaireada*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 11) Para la calibración del picnómetro se pesarlo limpio con agua destilada hasta el aforo y tomar la temperatura con la que se ensaye ( $M_{pw,t}$ ).
- 12) Colocar el recipiente con la lechada en un horno a 110°C durante 24 horas y sacar para que se enfríe a temperatura ambiente hasta que el contacto de las manos con el recipiente sea tolerable y finalmente pesar para registrar este valor al cual se le denomina ( $M_s$ ).

- 13) Fórmula para calcular el peso específico de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo.

$$G_t = \frac{Ms}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t} - Ms))}$$

Donde:

$M_{pw,t}$ : Masa del picnómetro y el agua a la temperatura de ensayo ( $T_t$ ), g

$M_{pws,t}$ : Masa del picnómetro, agua y sólidos deaireados a la temperatura del ensayo ( $T_t$ ), g.

$Ms$ : Masa de los sólidos secos en el horno luego del ensayo, g

- 14) Calcular el peso específico de los sólidos del suelo a 20°, lo cual se debe corregir usando una constante k usando la siguiente Tabla 3.9.

$$G_{20^{\circ}C} = K * G_t$$

$K$ : Constante de la tabla

$G_t$ : Peso específico a la temperatura del ensayo.

**Tabla 3.9**

*Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) para diversas temperaturas*

Temperatura (° C)	Densidad (g / mL) $\zeta$	Coficiente de temperatura (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g / mL) $\zeta$	Coficiente de temperatura (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g / mL) $\zeta$	Coficiente de temperatura (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g / mL) $\zeta$	Coficiente de temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
.1	0,99909	1,00088	.1	0,99893	1,00072	.1	0,99876	1,00055	.1	0,99858	1,00037
.2	0,99907	1,00087	.2	0,99891	1,00071	.2	0,99874	1,00054	.2	0,99856	1,00035
.3	0,99906	1,00085	.3	0,99890	1,00069	.3	0,99872	1,00052	.3	0,99854	1,00034
.4	0,99904	1,00084	.4	0,99888	1,00067	.4	0,99871	1,00050	.4	0,99852	1,00032
.5	0,99902	1,00082	.5	0,99886	1,00066	.5	0,99869	1,00048	.5	0,99850	1,00030
.6	0,99901	1,00080	.6	0,99885	1,00064	.6	0,99867	1,00047	.6	0,99848	1,00028
.7	0,99899	1,00079	.7	0,99883	1,00062	.7	0,99865	1,00045	.7	0,99847	1,00026
.8	0,99898	1,00077	.8	0,99881	1,00061	.8	0,99863	1,00043	.8	0,99845	1,00024
.9	0,99896	1,00076	.9	0,99879	1,00059	.9	0,99862	1,00041	.9	0,99843	1,00022
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000	21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957

Fuente: (ASTM D854-14, 2014)

**Tabla 3.10***Densidad de Sólidos del Suelo*

<b>Método de ejecución</b>	A
<b>Método de remoción de aire</b>	Vacíos
<b>Volumen de Matraz a 20°C (ml)</b>	500
<b>Temperatura (°C)</b>	16
<b>Matraz N°</b>	1
<b>Peso Matraz (g)</b>	163,7
<b>Peso de matraz + agua (g)</b>	663,2
<b>Peso de matraz + agua + suelo (g)</b>	682,28
<b>Peso recipiente</b>	161,32
<b>Peso Recipiente + S seco (g)</b>	193,68
<b>Peso de solidos secos en el horno</b>	32,36
<b>Gt</b>	2,437
<b>K</b>	1,00074
<b>G20°C</b>	<b>2,439</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Los datos de pesos y temperatura fueron obtenidos en el laboratorio, mientras que el valor de la constante K se extrajo de la Tabla 3.9. Una vez que se disponía de todos los parámetros (Tabla 3.10) de la ecuación se procedió a calcular la gravedad específica correspondiente a dicho suelo de análisis, el resultado tiene tres cifras significativas ya que la norma lo especifica.

### 3.1.1.5. Clasificación SUCS

Para realiza la clasificación del suelo es necesario disponer de los resultados de granulometría y límites de Atterberg. Este método designa dos letras, la primera representa el componente principal del suelo y la segunda las características de la plasticidad. (ASTM D2487-17e1, 2017)

Bajo los criterios establecidos en la norma ASTM D 2487-17e1, a continuación, se detalla el procedimiento realizado tomando en cuenta todos los parámetros.

- 1) Revisar los resultados de la Granulometría por tamizado y Límites de Atterberg para elaborar la Tabla 3.11 y poder visualizarlos mejor.

**Tabla 3.11***Resumen de Granulometría y Límites de Atterberg del Suelo*

<b>Porcentaje pasante del tamiz N°200</b>	79,3
<b>% Grava</b>	0
<b>% Arena</b>	21
<b>LL (%)</b>	42
<b>IP (%)</b>	17

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 2) Revisar si al menos el 50% del peso seco se retiene o pasa en el tamiz N°200. Este dato sirve para ver si la muestra es Suelo de grano grueso o Suelo de grano fino.
- 3) Usar el valor del Límite Líquido e Índice Plástico para clasificar la muestra como Arcilla o Limo.

**Tabla 3.12***Tabla de Clasificación del Suelo*

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>A</sup>				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name <sup>B</sup>	
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5% fines <sup>C</sup> )	Cu $\geq$ 4.0 and 1 $\leq$ Cc $\leq$ 3.0 <sup>D</sup>	GW	Well-graded gravel <sup>E</sup>	
			Cu $<$ 4.0 and/or [Cc $<$ 1 or Cc $>$ 3.0] <sup>D</sup>	GP	Poorly graded gravel <sup>E</sup>	
		Gravels with Fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	GM GC	Silty gravel <sup>E,F,G</sup> Clayey gravel <sup>E,F,G</sup>	
	Sands (50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5% fines <sup>H</sup> )	Cu $\geq$ 6.0 and 1.0 $\leq$ Cc $\leq$ 3.0 <sup>D</sup>	SW	Well-graded sand <sup>F</sup>	
			Cu $<$ 6.0 and/or [Cc $<$ 1.0 or Cc $>$ 3.0] <sup>D</sup>	SP	Poorly graded sand <sup>F</sup>	
		Sands with Fines (More than 12 % fines <sup>H</sup> )	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	SM SC	Silty sand <sup>E,G,I</sup> Clayey sand <sup>E,G,I</sup>	
FINE-GRAINED SOILS	Silts and Clays	Inorganic	PI $>$ 7 and plots on or above "A" line <sup>J</sup>	CL	Lean clay <sup>K,L,M</sup>	
			PI $<$ 4 or plots below "A" line <sup>J</sup>	ML	Silt <sup>K,L,M</sup>	
	50% or more passes the No. 200 sieve		organic	Liquid limit-oven dried, <sup>L</sup> Liquid limit-not dried $<$ 0.75	OL	Organic clay <sup>K,L,M,N</sup> Organic silt <sup>K,L,M,Q</sup>
			Silts and Clays	Inorganic	PI plots on or above "A" line	CH
				PI plots below "A" line	MH	Elastic silt <sup>K,L,M</sup>
			organic	Liquid limit-oven dried, <sup>L</sup> Liquid limit-not dried $<$ 0.75	OH	Organic clay <sup>K,L,M,P</sup> Organic silt <sup>K,L,M,Q</sup>

Fuente:(ASTM D2487-17e1, 2017)



Al seguir los pasos de la Tabla 3.12 para clasificar el suelo se pudo obtener como resultado CL pero para mayor exactitud del tipo de suelo se procedió a realizar el siguiente análisis. La cantidad de suelo que atraviesa el tamiz N° 200 es mayor al 30%, luego se observa que hay predominancia de arena ante que grava y por último se evidencia que el contenido de grava en la muestra es menor al 15%. Tomando en cuenta todo el análisis se llegó a la conclusión, que la muestra de suelo ensayada corresponde a una **arcilla inorgánica de baja plasticidad con arena**.

### **3.1.2. PROPIEDADES QUÍMICAS**

Los ensayos para determinar las propiedades químicas son de gran importancia ya que nos permiten conocer la estructura interna de un cuerpo, así como sus compuestos y materiales. (Sánchez et al., 2005)

A lo largo de la historia se ha realizado varios estudio de dichos componentes ha permitido el desarrollo de nuevos materiales con mejores cualidades como resistencia, flexibilidad, etc. (Sánchez et al., 2005)

#### **3.1.2.1. Difracción de Rayos X (DRX)**

El método de difracción de rayos X se ha convertido en un análisis importante para el estudio de materiales sólidos a escala nanométrica, puede ser aplicado a diversas fases granulométricas de materiales minerales de arcillas, arenas y limos. (Aparicio & Carbajal, 2010; Justo & Morillo, 1999)

Para las mediciones de este ensayo se debe preparar las muestras lo más finas posibles aplicando la técnica de polvo la cual se detallará a continuación tomando como guías las Técnicas De Difracción De Rayos X Para La Identificación Cualitativa Y Cuantitativa De Minerales De La Arcilla y Manual de Operación del difractómetro de rayos X D8 ADVANCE, BRUKER AXS y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para la cuantificación y semi-cuantificación:

- 1) Tomar un peso aproximado de 50 gramos de la muestra de arcilla y someter a una temperatura de  $(110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$  por 24 horas para su respectivo secado.
- 2) Para eliminar la humedad de la muestra en su totalidad, insertar en un desecador por aproximadamente 2 horas.
- 3) Con la muestra en estado seco introducir en el pulverizador electrónico previamente limpio y seco por aproximadamente 1 minuto, retirar la muestra del equipo, reservar en una funda herméticamente sellada con su respectivo etiquetado.
- 4) Colocar una parte de la muestra en un portamuestras nivelada y enrasada con ayuda de una espátula.
- 5) Para obtener la lectura de la muestra, colocar el portamuestras en el Difractómetro de Rayos X (Aparicio & Carbajal, 2010; Justo & Morillo, 1999; Laboratorio de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN), 2010).

**Tabla 3.13***Difracción de Rayos X del Suelo*

Mineral	Fórmula	Suelo
		Contenido (%)
Plagioclasas	$(Na, Ca)Al(Si, Al)Si_2O_8$	<b>82</b>
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	<b>10</b>
Cordierita	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	<b>5</b>
Cuarzo	$SiO_2$	<b>3</b>

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021a)

El análisis presentado en la Tabla 3.13 es el resultado obtenido por los ingenieros del laboratorio DEMEX en el cual se puede observar que el mineral que predomina es, Plagioclasa con un 82%. (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021a)

### 3.1.2.2. Fluorescencia de Rayos X (FRX)

El método de fluorescencia de Rayos X (FRX) es un procedimiento aplicado con el propósito de identificar de manera cuantitativa los elementos químicos que se encuentre en cualquier tipo de muestra sin causar daño en la misma. (De La Cruz, 2018)

La muestra requiere tener la mayor cantidad de partículas de tamaño uniforme ya que este tipo de ensayo depende netamente de la densidad del material y de la granulometría ya que si esta no es lo debidamente final las partículas presentarán una fuerte dispersión aumentando la intensidad de la misma. A continuación, se detallará el debido procedimiento guiándose en el texto "*Fluorescencia de rayos X además en el mismo se encuentra su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras*". (De La Cruz, 2018)

- 1) En un crisol de cerámica pesar 20 g de muestra en estado seco y triturado.
- 2) Colocar la muestra en una mufla a una temperatura promedio de 950°C durante 30 minutos.
- 3) Una vez terminado el tiempo de secado dejar enfriar el crisol e introducir en un desecador por 3 horas para eliminar totalmente la humedad.
- 4) Para la elaboración de la perla fundida, mezclar en un plato de evaporación cerámico 6 g de suelo calcinado junto con 30 g de fundente luego introducir en un perlador.
- 5) Una vez obtenida la perla fundida colocar la misma en el equipo de fluorescencia de rayos X.

**Tabla 3.14***Fluorescencia de Rayos X del Suelo*

Elemento	Suelo	
	Contenido (%)	Óxidos
Na	1,83	$Na_2O$
Mg	0,79	$MgO$
Al	9,44	$Al_2O_3$
Si	24,32	$SiO_2$
P	0,06	$P_2O_5$
K	0,77	$K_2O$
Ca	2,42	$CaO$
Ti	0,35	$TiO_2$
Mn	0,12	$Mn_2O_3$
Fe	4,21	$Fe_2O_3$
S	0,03	

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021b)

Este ensayo se realizó con el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger y el programa Spectra Pluss. La muestra de suelo se calcinó y la pérdida por este proceso fue del 11,9%. Como se evidencia la Tabla 3.1 el elemento más abundante es Sílice (Si). (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021b)

## 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL LODO

### 3.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

#### 3.2.1.1. Contenido de Humedad

Como se puede observar en la siguiente Fotografía 3.12, se tiene el lodo aglomerado esto se debe al alto contenido de humedad con el cual se receiptó de la planta de lácteos.

### Fotografía 3.12

#### Contenido de Humedad del Lodo



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

**Tabla 3.15**

#### Contenido de Humedad del Lodo

Prueba N°	Peso recipiente (g)	Peso recipiente + Suelo húmedo (g)	Peso recipiente + Suelo seco (g)	Humedad (%)
1	9,28	60,92	24,27	244,50
2	9,68	60,64	24,62	241,10
<b>Promedio (g)</b>				<b>242,8</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

El contenido de humedad (Tabla 3.15) tan elevado se debe a que el lodo en días anteriores a ser recogido fue expuesto a intensas lluvias. Se decidió analizar este lodo debido a que fue usado en estas condiciones en la elaboración de los ladrillos.

### 3.2.1.2. Granulometría

#### 3.2.1.2.1. Granulometría por Tamizado

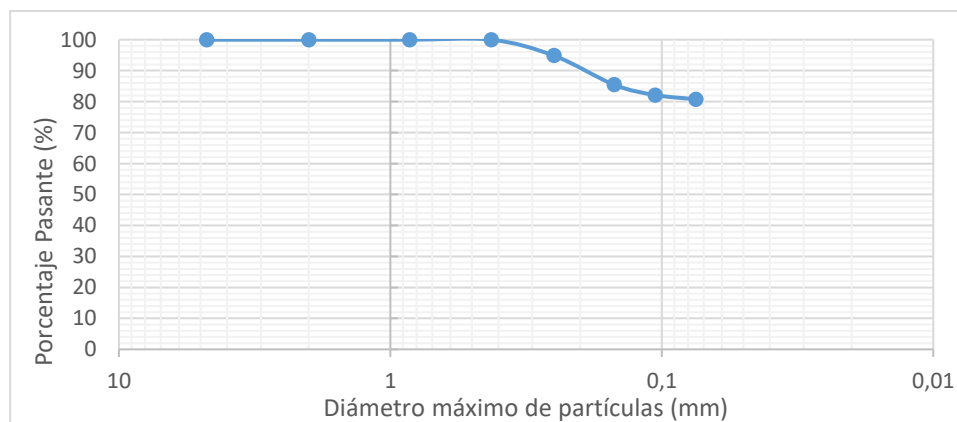
Para la granulometría por tamizado del lodo se siguió el mismo procedimiento que para el suelo.

**Tabla 3.16***Granulometría por Tamizado del Lodo*

Peso Inicial (g)		47,41	Peso Corregido (g)			13,83
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)	
N° 4	4,75	0	0	0	100	
N° 10	2	0	0,00	0,00	100,00	
N° 20	0,85	0	0,00	0,00	100,00	
N°40	0,425	0	0,00	0,00	100,00	
N° 60	0,25	0,71	5,13	5,13	94,87	
N°100	0,15	1,3	9,40	14,53	85,47	
N°140	0,106	0,46	3,33	17,86	82,14	
N°200	0,075	0,19	1,37	19,23	80,77	
Bandeja		11,17	80,77	100	0	
<b>Total</b>		<b>13,83</b>				

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Con los resultados de la Tabla 3.16 se obtuvo el porcentaje de Grava igual al 0 %, los Finos están presentes en la muestra con un 80,77% mientras que las Arenas ocupan un 19,23% de la composición. La curva granulométrica (Gráfica 3.3) evidencia la uniformidad de las partículas presentes en la muestra de lodo.

**Gráfica 3.3***Curva Granulométrica del Lodo*

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.2.1.2.2. Granulometría por Hidrómetro

El lodo al estar en contacto con la solución de hexametáfosfato de sodio por 24 horas se transformó en una pasta la cual se adhirió al matraz, se tuvo que usar gran cantidad de agua y la presión de la piseta para sacar todas las partículas. Al colocar toda la muestra en la probeta esta se sedimentó de inmediato dando como resultado datos erróneos del ensayo, así que se optó por no continuar con el ensayo de Granulometría por Hidrómetro.

#### Fotografía 3.13

*Granulometría por Hidrómetro del Lodo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.2.1.3. Límites de Atterberg

#### 3.2.1.3.1. Límite Líquido

No se pudo ejecutar este ensayo debido a que el lodo se secaba muy rápidamente y de esta manera era necesario agregar agua constantemente pero no logró cumplir el objetivo del ensayo.

#### 3.2.1.3.2. Límite Plástico

Como se presenta a continuación en la Fotografía 3.14, se puede verificar los intentos fallidos para obtener un resultado que no fue posible, por lo cual la muestra de lodo tiene propiedades no plásticas.

**Fotografía 3.14**

*Límite Plástico del Lodo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

**3.2.1.4. Densidad de Sólidos**

Durante el desarrollo de este ensayo en los primeros minutos de extracción de aire esta presentó gran cantidad de burbujas que casi llegaban al tapón de la bomba con gran rapidez es así que se tuvo mucho cuidado.

**Fotografía 3.15**

*Densidad de Sólidos del Lodo*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021



Para la Tabla 3.17 el procesamiento de datos se realizó de la misma manera que para el suelo, tomando en consideración que la temperatura en este caso fue diferente por lo tanto el factor K cambió.

**Tabla 3.17**

*Densidad de Sólidos del Lodo*

<b>Método de ejecución</b>	A
<b>Método de remoción de aire</b>	Vacíos
<b>Volumen de Matraz a 20°C (ml)</b>	500
<b>Temperatura (°C)</b>	15
<b>Matraz N°</b>	1
<b>Peso Matraz (g)</b>	163,72
<b>Peso de matraz + agua (g)</b>	662,38
<b>Peso de matraz + agua + suelo (g)</b>	668,42
<b>Peso recipiente</b>	187,1
<b>Peso Recipiente + S seco (g)</b>	201,83
<b>Peso de sólidos secos en el horno</b>	14,73
<b>Gt</b>	1,695
<b>K</b>	1,0009
<b>G20°C</b>	<b>1,697</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.2.1.5. Clasificación SUCS

No fue posible clasificar la muestra de lodo, debido a que se encuentra compuesto de grasa, sosa cáustica y cal.

## 3.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

### 3.2.2.1. Difracción de Rayos X (DRX)

**Tabla 3.18***Difracción de Rayos X del Lodo*

<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Lodo</b>
		<b>Contenido (%)</b>
Calcita	$CaCO_3$	<b>73</b>
Lime	$CaO$	<b>25</b>
Meionita	$Ca_4Al_6Si_6O_{24}(CO_3)$	<b>2</b>

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021a)

En el informe emitido por el DEMEX, mismo que se encuentra en el ANEXO 3. Se puede observar una nota, la cual dice que la muestra de lodo fue calcinada por 2 horas a 650°C y así la muestra se redujo al 32,95%, este proceso previo se realizó para obtener una mejor definición del difractograma. El mineral con mayor presencia fue la calcita con un 73% (Tabla 3.18). (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021a)

**3.2.2.2. Fluorescencia de Rayos X (FRX)****Tabla 3.19***Fluorescencia de Rayos X del Lodo*

<b>Elemento</b>	<b>Lodo</b>		<b>Lodo</b>	
	<b>Contenido (%)</b>	<b>Óxidos</b>	<b>Contenido (%)</b>	
<b>Na</b>	0,11	$Na_2O$	0,14	
<b>Mg</b>	0,26	$MgO$	0,43	
<b>Al</b>	2,18	$Al_2O_3$	4,12	
<b>Si</b>	0,93	$SiO_2$	1,98	
<b>P</b>	0,8	$P_2O_5$	1,83	
<b>K</b>	0,02	$K_2O$	0,02	
<b>Ca</b>	19,32	$CaO$	27,03	
<b>Ti</b>	0,01	$TiO_2$	0,01	
<b>Mn</b>	----	$Mn_2O_3$	----	
<b>Fe</b>	0,13	$Fe_2O_3$	0,18	
<b>S</b>	0,43			

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021b)

La muestra de suelo se calcinó y la pérdida por este proceso fue del 58%. Como se evidencia la Tabla 3.19 el elemento más abundante es Silicio (**Si**) (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021b)

### **3.3. ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS**

#### **3.3.1. EXTRACCIÓN DE ARCILLAS**

La arcilla se extrajo por excavación manual de (0°18'57.3"N; 78°06'29.9"W), lugar cercano a la ladrillera.

#### **3.3.2. PULVERIZACIÓN**

El suelo llega en bloques por lo cual es necesario primero moler para obtener un material más fino y uniforme. Colocar el suelo en un molino de martillos para pulverizar el material, así se obtiene un suelo con un diámetro máximo de 0,85mm. Realizar este proceso con la humedad natural del suelo extraído y posterior a la pulverización cubrir el material con plásticos para evitar que absorba más contenido de humedad producto de las lluvias.

#### **Fotografía 3.16**

*Molino de martillos para pulverizar tierra*



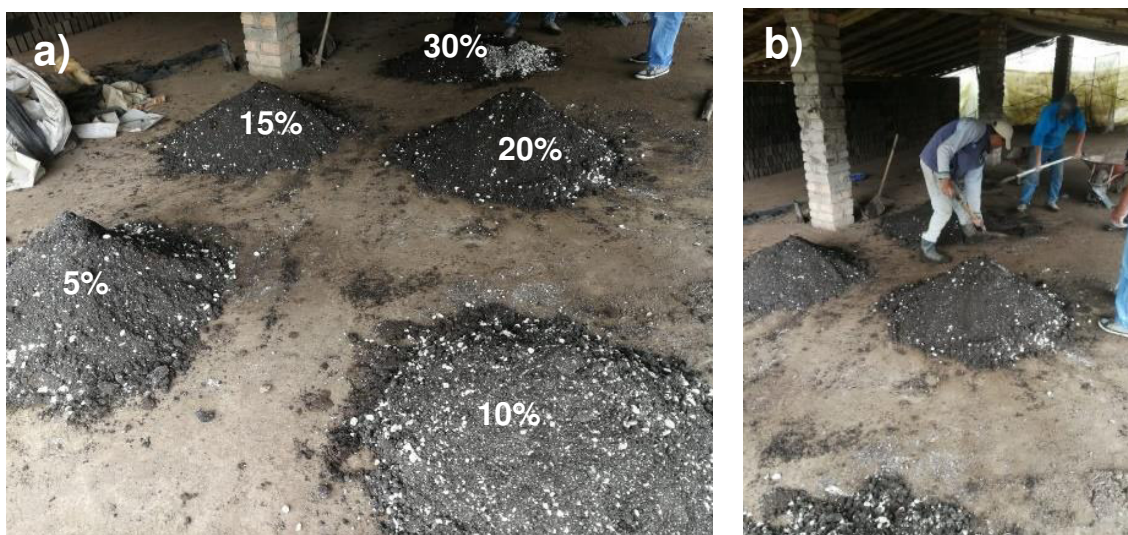
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.3.3. MEZCLA

Esta investigación consiste en aplicar diferentes concentraciones de lodo residual en la elaboración de los ladrillos por lo cual se procede a realizar las diferentes mezclas como se presenta a continuación (Fotografía 3.17 a). Con ayuda de palas dar varias vueltas al cúmulo hasta verificar la homogeneidad de la mezcla y retirar manualmente la materia orgánica como raíces (Fotografía 3.17 b). Agregar agua no fue necesario debido a que el suelo ya se encontraba con una humedad del 42%.

#### Fotografía 3.17

*Dosificación de lodo en la mezcla con arcilla*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.3.4. MOLDEO

Moldear el material mezclado para dar la forma del ladrillo, en este proceso usar una máquina extrusora con motor a diésel para incrementar la densidad y así su resistencia.

**Fotografía 3.18**

*Máquina extrusora de ladrillos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Llenar con agua el contenedor verde que se encuentra en la parte superior de la extrusora y por unas mangueras de diámetro 1 cm dirigir el agua hacia el molde extrusor con el único objetivo de lubricar este para que el bloque de mezcla pueda resbalar por las paredes.

Colocar la mezcla en el tanque de llenado (Fotografía 3.19 a). Por la presión ejercida por el tornillo sin fin, el bloque de mezcla llega a la mesa de corte para que con ayuda de los alambres cortar los ladrillos (Fotografía 3.19 b) y por último espolvorear suelo seco en una tabla que sobre la carretilla para que no se peguen los ladrillos y así poder transportarlos hasta una cubierta.

**Fotografía 3.19**

*Proceso de moldeo*



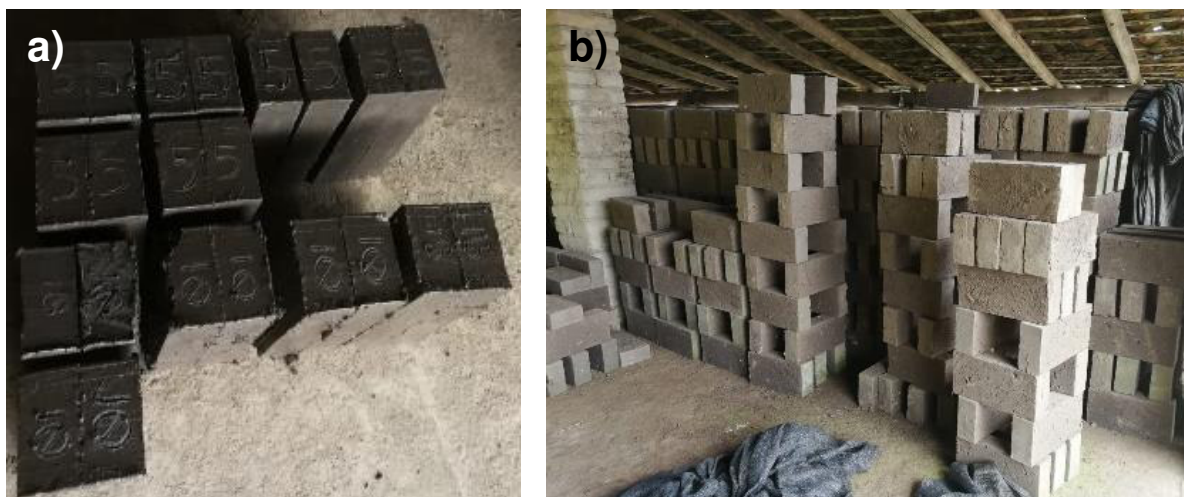
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.3.5. SECADO

Depositar los ladrillos recién moldeados con mucho cuidado en una cubierta muy cerca de la zona de moldeo, para evitar la lluvia y que estos se sequen por acción natural del sol y viento, pero sin entrar en contacto directo con los rayos de sol porque este factor baja la resistencia de los ladrillos (Fotografía 3.20 a). Transcurrido la mitad del periodo de secado girar las caras de los ladrillos y en las últimas semanas del proceso, secar los ladrillos de canto es decir formar pequeñas torres para alcanzar un secado parejo (Fotografía 3.20 b). Los ladrillos con la mezcla lodo – arcilla tardaron 3 meses en secarse, mientras que los ladrillos de arcilla pura apenas 2 meses. El tiempo de secado normal es de 21 días, esto pudo verse afectado por el clima y su alto contenido de humedad.

#### Fotografía 3.20

*Ladrillos recién moldeados y su posterior secado*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.3.6. CARGA DEL HORNO

Previo a la cocción cargar los ladrillos y ubicar en el horno en capas horizontales apoyados sobre su lado más largo hasta alcanzar la capacidad de 15 000 ladrillos. Entre cada ladrillo dejar 5 milímetros para permitir el flujo del aire y los gases calientes producto de la combustión y también para permitir el paso del fuego y calor durante la

cocción (Fotografía 3.21 a). Una vez ya colocados todos los ladrillos cubrir la parte superior del horno con pedazos de ladrillos para retener la mayor cantidad de calor posible dentro del horno (Fotografía 3.21 b).

### **Fotografía 3.21**

*Carga del Horno y ubicación*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### **3.3.7. COCCIÓN**

Ubicar eucalipto en la zona de combustión cada 2 horas en el día y cada 3 horas en la noche. Realizar el quemado durante 48 horas para alcanzar una temperatura alrededor de 1000°C luego de la cocción dejar enfriar en el mismo horno por 8 días antes de su descarga para su posterior venta. En la (Fotografía 3.22 b) se puede observar como los ladrillos comienzan a ponerse rojos por estar en contacto directo con el fuego.

**Fotografía 3.22***Cocción de ladrillos*

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

**3.3.8. DESCARGA DE HORNO**

Mientras se descarga los ladrillos verificar las fisuras, las aristas duras y completas, así como la intensidad del color rojizo. En caso que los ladrillos presenten costras producto de la exposición al fuego se los separa.

**Fotografía 3.23***Descarga de horno*

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

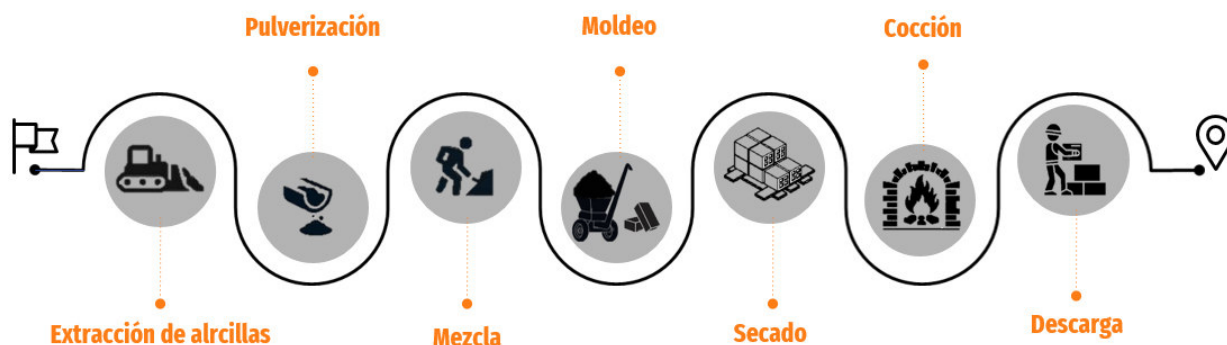


### 3.3.9. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

A continuación, se describe de manera gráfica el proceso para la elaboración de ladrillos, esta información se basó en la experiencia que se obtuvo al observar en la ladrillera elegida.

**Figura 3.1**

*Diagrama de flujo de la Elaboración de los ladrillos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

## 3.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LADRILLOS

Con ayuda de las propiedades físicas se puede clasificar los mampuestos según su uso. Entre ellas se encuentra la resistencia a la compresión misma que se calcula para controlar la calidad en aspectos como dosificación de materiales, temperaturas, tiempos de secado y cocción. Se analiza la absorción para medir la resistencia de la mampostería, durabilidad si la absorción es alta puede haber variación de volumen, permeabilidad alta y decoloración. Estas propiedades con sus requisitos son exclusivamente de las unidades no estructurales que se vayan a exponer a la intemperie. (Afanador et al., 2012)

### 3.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Capacidad que tiene un elemento para soportar una carga perpendicular a su plano de apoyo y distribuirlo homogéneamente sobre su plano de carga. (INEN 3049, 2018)

Para realizar este ensayo la guía fue la NTE INEN 3049 parte 5, a continuación, se detalla el procedimiento efectuado:

- 1) Secado: Secar los especímenes o muestras en un horno durante 24 horas a 110°C, una vez transcurrido ese tiempo se apagar el horno y se dejar enfriar las muestras durante 15 minutos aproximadamente hasta que las manos puedan aguantar el calor y así no descalibrar la balanza. Luego pesar en intervalos de 2 horas hasta obtener que la variación de la masa sea menor al 0,2%.
- 2) Preparar el mortero colocando en relación de 2:1 de arena y cemento que previamente pasó a través del tamiz N°16, verter el agua hasta lograr una consistencia un poco líquida.
- 3) Una vez que los especímenes se encuentran a temperatura ambiente se procede a mojarlos para que la capa de mortero se adhiera a las caras de ladrillo.
- 4) Con un bailejo colocar una capa delgada de mortero sobre la cara del ladrillo y usando una paleta se alisar la superficie que va a entrar en contacto con la máquina de compresión.

### **Fotografía 3.24**

*Refrentado de ladrillos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 5) A las 24 horas de secado del refrentado repetir el proceso para la otra cara del espécimen.
- 6) Dejar secar durante 24 horas, verificar que las caras refrentadas sean paralelas y que su refrentado sea menor a 3,2 mm.
- 7) Ubicar y centrar de tal manera que las caras refrentadas de la muestra entren en contacto con las platinas metálicas y estas a su vez con las rótulas de la máquina de compresión.
- 8) Posteriormente aplicar la carga a una velocidad constante entre 60 segundos y 120 segundos hasta observar la ruptura en el ladrillo, además ingresar datos como largo, ancho y área.

### Fotografía 3.25

*Ingreso de datos para calcular la Resistencia*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

- 9) Usar la siguiente fórmula para el cálculo de la resistencia a la compresión:

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

Donde:

**C:** Resistencia a la compresión, Pa x10<sup>4</sup> o  $\frac{kgf}{cm^2}$

**W:** Carga máxima de rotura, N o kgf

**A:** Promedio de las áreas brutas de las dos caras refrentadas del espécimen, cm<sup>2</sup>

La Tabla 3.20 que se encuentra a continuación tiene los requisitos que deben cumplir los mampuestos no estructurales.

**Tabla 3.20**

*Propiedades físicas de las unidades de mampostería No Estructural*

Tipo	Resistencia mínima a la compresión		Absorción de agua máxima en % <sup>a, b</sup>	
	MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )		Interior	
	Promedio 5 unidades	Unidad	Promedio 5 unidades	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
Unidades livianas PH	2,0 (20)	1,5 (15)	17	20

<sup>a</sup> Si en razón de la materia prima utilizada, las unidades de mampostería no estructural resultan con absorción mayor a la especificada en la Tabla 1, se debe acudir al análisis térmico diferencial conjunto de la arcilla y del producto cocido, de acuerdo con el procedimiento descrito en NTE INEN 3049-5 para determinar si la temperatura de cocción fue suficiente o no para formar fases cerámicas estables.

<sup>b</sup> El análisis térmico dilatométrico puede reemplazar al análisis térmico diferencial cuando se trate de determinar el rango de temperaturas en el cual ha sido cocido un material cerámico. Para que el ensayo sea efectivo se debe hacer conjuntamente sobre la materia prima y sobre el producto terminado, puesto que es de la comparación de resultados que se deduce el rango de cocción del material.

Fuente: (INEN 3049, 2018)

En la Tabla 3.21 que se encuentra a continuación se detalla la resistencia a la compresión del promedio de 5 muestras de cada contenido de lodo.

**Tabla 3.21**

*Resistencia a la Compresión de los ladrillos*

Lodo (%)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Peso (Kg)	Carga (KN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Compresión (MPa)
Patrón (0)	17,3	17	8,8	4100	494,36	294,1	<b>16,83</b>
5	17,3	16,4	8,2	3232,7	234,3	282,9	<b>8,28</b>
10	17,4	16,5	8,4	3085,42	135,2	287,1	<b>4,72</b>
15	17,1	16,6	8,4	3100,14	87,43	283,86	<b>3,08</b>
20	17,2	16,4	8,4	2836,64	77,98	282,08	<b>2,76</b>
30	17,2	16,4	8,5	2854,08	76,5	282,08	<b>2,71</b>

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Al comparar las Tablas 3.20 y 3.21 se observa que los ladrillos patrón obtuvieron 16,83 MPa del promedio de 5 muestras, cumplen con la resistencia a la compresión de 14 MPa.

Durante el refrentado se colocó una cantidad mayor a la necesaria para que se adhiera el mortero al ladrillo por tal motivo hubo demora en el secado de los especímenes antes de ser ensayados, el cual fue de aproximadamente 15 días dependiendo de la cantidad de agua que estos habían absorbido.

Como se puede observar en la Fotografía 3.26 se tiene dos muestras patrón de diferente color, esto se debe a que el más rojo se encuentra mejor quemado esto pudo deberse a que se encontraba más cerca del fuego.

### **Fotografía 3.26**

*Ruptura de ladrillos patrón*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

### 3.4.2. ABSORCIÓN DE AGUA

Capacidad que tiene un material para succionar y retener agua en sus poros. Esta propiedad da una noción del grado de cocción y durabilidad del material. (INEN 3049, 2018)

El siguiente procedimiento se encuentra detallado en la NTE INEN 3049 parte 5 y fue el que se ejecutó en este ensayo:

- 1) Secado: Secar los especímenes o muestras en un horno durante 24 horas a 110°C, luego de esto pesar en intervalos de 2 horas hasta obtener que la variación de masa sea menor al 0,2% y registrar este valor conocido como masa seca de la muestra antes de la inmersión (Fotografía 3.27 a).
- 2) Sumergir los especímenes secos y fríos en un tanque con agua limpia por 24 horas a 18°C (Fotografía 3.27 b).
- 3) Retirar cada espécimen, secar el exceso de agua con un paño húmedo y registrar como masa del espécimen saturado, este paso debe durar menos de 300 segundos.
- 4) Para calcular la absorción usar la siguiente ecuación y registrar con una aproximación del 0,1%:

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 \times (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

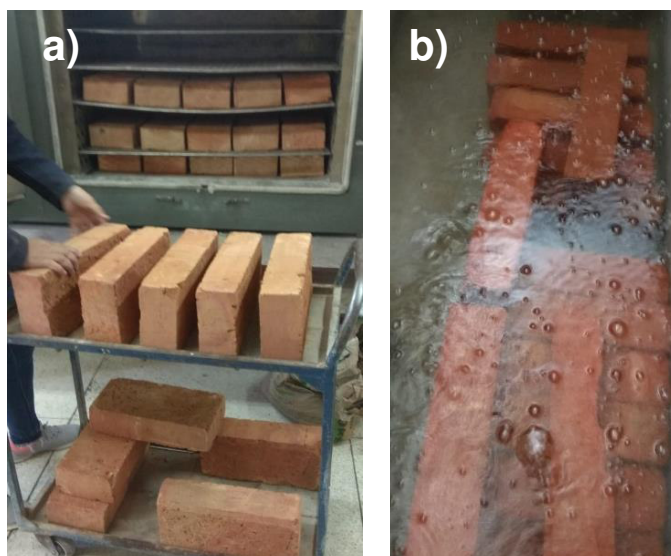
Donde:

$W_s$ : Masa seca de la muestra antes de la inmersión, g

$W_{ss}$ : Masa del espécimen saturado sumergido en agua, g

### Fotografía 3.27

#### *Absorción de ladrillos*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

En la Fotografía 3.27 b, se puede observar la cantidad y el tamaño de las burbujas que se producen inmediatamente luego de colocar los ladrillos en el tanque de agua, eso se debe a que el agua comienza a ocupar los poros del ladrillo.

Al comparar la Tabla 3.20 y la Tabla 3.22 se verificó que a mayor porosidad mayor absorción de agua, con lo cual ninguno de los ladrillos cumple con la norma NTE INEN 3049.

### Tabla 3.22

#### *Absorción de agua máxima*

Lodo (%)	Peso Seco (g)	Peso Saturado Sumergido (g)	Absorción de agua (%)
Patrón (0)	7054	8722	23,6
5	6306	8174	29,6
10	5934	7870	32,6
15	5940	7936	33,6
20	5476	7490	36,8
30	5322	7370	38,5

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO Y LODO

La Tabla 4.1 presenta un resumen de los resultados de cada ensayo para determinar propiedades físicas del suelo y lodo. Esto es con el objetivo de establecer semejanzas y diferencias para poder comprender el comportamiento de cada material frente al calor, y así poder justificar la variación de la resistencia a la compresión en cada una de las diferentes dosificaciones de lodo.

**Tabla 4.1**

*Caracterización Física del suelo y lodo*

Parámetros	Suelo	Lodo
Contenido de humedad (%)	41	242,8
Densidad de sólidos ( $g/cm^3$ )	2,438	1,7
Índice de plasticidad (%)	17	---
Partículas finas (%)	79	80,77
Arena (%)	21	19,23
Partículas gruesas (%)	0	0
SUCS	CL	---

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

A continuación, se realizó un análisis comparativo descriptivo de los resultados de cada elemento analizado en los laboratorios de la EPN.

El contenido de humedad representa la cantidad de agua en cada elemento antes de ser usado como parte de la mezcla en la elaboración de ladrillos, como se puede visualizar en la Tabla 4.1 el lodo tiene un contenido de humedad de 242,8% el cual es 6 veces mayor al del suelo. El lodo está compuesto básicamente de grasa y cal, esta última es gran absorbente de agua lo cual se puede comprobar con los resultados expuestos anteriormente.



La densidad de sólidos en el suelo fue de  $2,438 \text{ g/cm}^3$  y la densidad de sólidos del lodo tiene un valor  $1,697 \text{ g/cm}^3$  esta última es baja debido a la grasa presente en el lodo.

El índice de Plasticidad da un indicio del asentamiento del suelo y su expansividad potencial dependiendo de la cantidad de arcilla, finura y capacidad para cambiar la configuración sin alterar su volumen. El 79% de partículas finas presentes en el suelo analizado produce un aumento en el índice de plasticidad igual al 17%, el cual indica que necesita gran cantidad de agua para que este pase de estado semisólido a líquido.

Según la clasificación SUCS el suelo analizado es una arcilla de baja plasticidad (CL) la cual da propiedades de dureza al ladrillo cuando este es quemado.

Con respecto al lodo, se demostró que no es posible ensayarlo como un suelo debido a la composición que tiene y las consistencias presentadas en las propiedades físicas al analizarlo.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO Y LODO**

Como se puede visualizar en la Tabla 4.2 los minerales presentes en el suelo no forman parte de la composición del lodo.

En la Tabla 4.2 se puede observar que el mineral con mayor predominancia en el suelo son las plagioclasas con un 82% y en menor porcentaje se encuentran moscovita, cordierita y cuarzo. Las plagioclasas son un subgrupo de los feldespatos, estos aumentan la resistencia a la flexión, resistencia a esfuerzos e incrementa la dureza y durabilidad. (Coordinación General de Minería, 2014)

Además, en la Tabla 4.2 se visualiza en el lodo un alto contenido de Calcita en un 73% y Cal (Lime) con un 25% mientras que de Meionita hay apenas un 2%. De la misma manera en la Tabla 4.3 se evidencia un 27,03% de CaO. La Calcita y la Cal son importantes en la industria de la construcción debido a sus propiedades cementantes. Sin embargo, los ladrillos ecológicos no pudieron adquirir dichas propiedades ya que la grasa al evaporarse hizo que se desprendan dichos minerales.

**Tabla 4.2***Difracción de Rayos X del Suelo y Lodo*

Mineral	Suelo	Lodo
	Contenido (%)	Contenido (%)
Plagioclasas	82	---
Moscovita	10	---
Cordierita	5	---
Cuarzo	3	---
Calcita	---	73
Lime	---	25
Meionita	---	2

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021a)

En la Tabla 4.3 se observa un elevado porcentaje de  $SiO_2$  con un valor del 52,02%, a este óxido se le denomina cuarzo el cual presenta diversos beneficios como remoción de agua en la etapa de secado así como la desgasificación de impurezas. (Guarín et al., 2021)

**Tabla 4.3***Fluorescencia de Rayos X del Suelo y Lodo*

Elemento	Suelo	Lodo	Óxidos	Suelo	Lodo
	Contenido (%)	Contenido (%)		Contenido (%)	Contenido (%)
Na	1,83	0,11	$Na_2O$	2,47	0,14
Mg	0,79	0,26	$MgO$	1,31	0,43
Al	9,44	2,18	$Al_2O_3$	17,83	4,12
Si	24,32	0,93	$SiO_2$	52,02	1,98
P	0,06	0,8	$P_2O_5$	0,13	1,83
K	0,77	0,02	$K_2O$	0,92	0,02
Ca	2,42	19,32	$CaO$	3,39	27,03
Ti	0,35	0,01	$TiO_2$	0,58	0,01
Mn	0,12	-----	$Mn_2O_3$	0,18	----
Fe	4,21	0,13	$Fe_2O_3$	6,02	0,18
S	0,03	0,43			

Fuente: (Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX), 2021b)

### 4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS

#### 4.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La norma NTE INEN 3049 especifica (Tabla 3.20) que para ladrillos macizos hay dos condiciones por cumplir. La primera es que cada muestra debe dar como mínimo 10 MPa y el promedio de 5 muestras con igual porcentaje debe ser de al menos 14 MPa. Es así que los únicos ladrillos que cumplieron con estas dos condiciones fueron los ladrillos patrón. Como se puede apreciar en la Tabla 4.4 los ladrillos con un 5% de lodo obtuvieron la mitad de la resistencia de un ladrillo patrón y a medida que se aumenta el lodo en la mezcla, la resistencia se vio notablemente reducida hasta obtenerse valores que no son aceptados por la norma. Sin embargo, los valores obtenidos de resistencia no son un impedimento para aplicarlos en áreas decorativas.

**Tabla 4.4**

*Resultados de la Resistencia a la Compresión*

<b>Lodo (%)</b>	<b>Resistencia a la Compresión(MPa)</b>
Patrón (0)	16,83
5	8,28
10	4,72
15	3,08
20	2,76
30	2,71

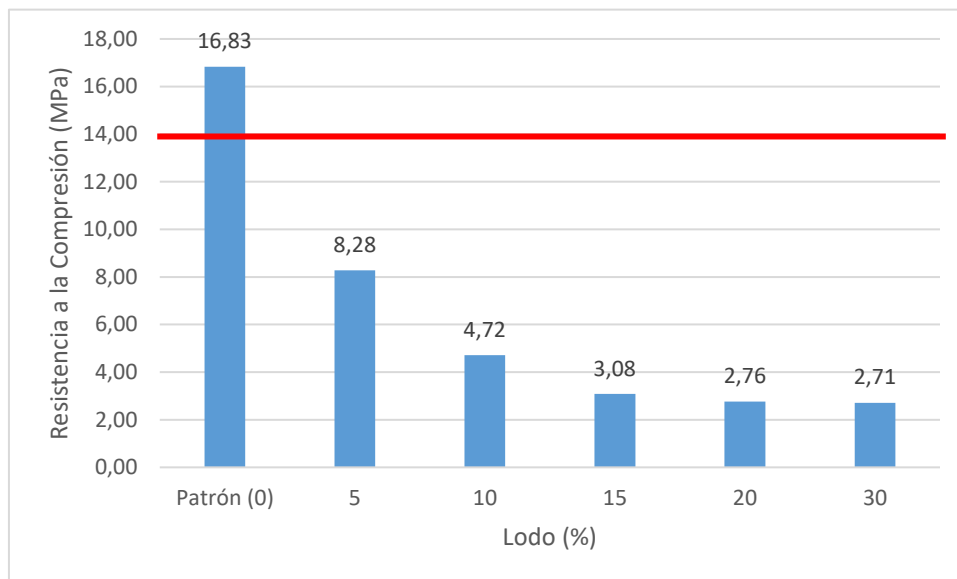
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

En la Gráfica 4.1 se encuentra una línea horizontal roja la cual representa el valor mínimo requerido por la norma NTE INEN 3049 es decir 14 MPa. Dicha línea confirma que solo el ladrillo patrón cumple con la norma, y por lo tanto es un elemento cerámico que puede ser usado como parte de la mampostería no estructural, ya que en la misma norma se requiere de 20MPa para que los ladrillos sean usados como elementos estructurales.

Los resultados de resistencia son menores al valor mínimo requerido por la normativa en un 40,86%, 66,29%, 78%, 80,29% y 80,64% correspondientes a las dosificaciones del 5%, 10%, 15%, 20% y 30%.

#### Gráfica 4.1

*Comparación de la Resistencia a la Compresión requerida con resultados*



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 4.3.2. ABSORCIÓN DE AGUA

En la Tabla 4.5 se puede apreciar el porcentaje de absorción de agua máxima del promedio de 5 ladrillos muestra por cada dosificación en estado seco y luego saturados sumergidos, los cuales corresponde al 0% como ladrillo patrón e incrementando sus porcentajes en 5%,10%,15%,20% y 30% de adición de lodo.

**Tabla 4.5***Resultados de la Absorción de agua máxima*

<b>Lodo (%)</b>	<b>Absorción de agua (%)</b>
Patrón (0)	23,6
5	29,6
10	32,6
15	33,6
20	36,8
30	38,5

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Las muestras ensayadas dieron como resultado un valor del 23,6% correspondiente al ladrillo patrón y un 38,5% en 30% de lodo en la mezcla, así se evidencia el aumento de absorción para los ladrillos con mayor cantidad de lodo.

Se puede observar en los resultados del ensayo que el porcentaje de absorción de agua incrementa, el aumento de lodo en las mezclas genera porosidades como se muestra en la Fotografía 4.1. Los espacios que se presentan en las muestras provocan mayor ingreso de agua en el elemento, lo cual eleva su absorción.

**Fotografía 4.1***Ladrillo de muestra con un 30% de lodo*

Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

En la norma NTE INEN 3049 Tabla 3.20 se encuentran los requisitos de resistencia y absorción donde se observa que, los resultados obtenidos de los ensayos

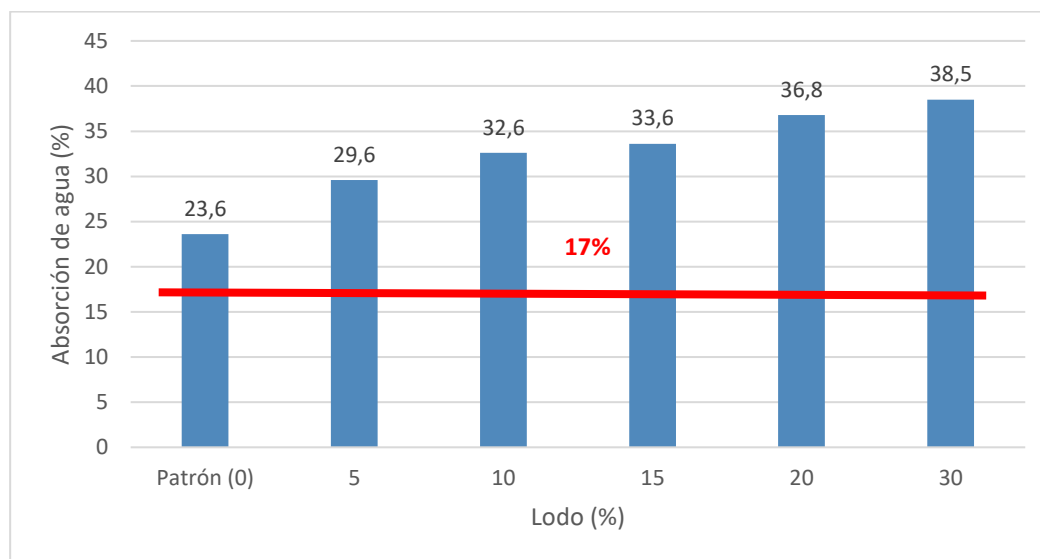
tanto del ladrillo patrón como de los ecológicos, sobrepasan la absorción máxima de 17% establecido por la norma.

La estructura porosa del ladrillo requiere de otros productos impermeabilizantes para reducir la absorción de agua en el ladrillo y de esta manera controlar la humedad en el elemento estructural.

En la Gráfica 4.2 se evidencia el incremento de absorción de agua en un 38,82%, 74,12%, 91,76%, 97,65%, 116,47% y 126,47%, correspondiente al ladrillo patrón y las dosificaciones del 5%,10%,15%,20%y 30%, con respecto al valor máximo permisible de 17%.

### Gráfica 4.2

*Comparación de la Absorción de agua requerida con resultados*



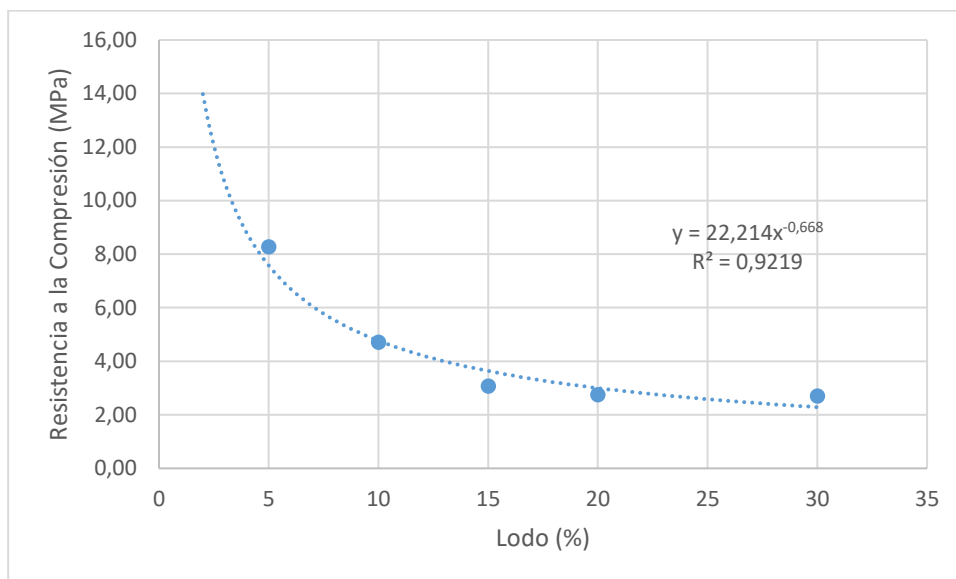
Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

#### 4.4. LADRILLO CON LA MEZCLA ÓPTIMA

A continuación, se encuentra la Gráfica 4.3 en la que se marca la línea de tendencia potencial para poder calcular el porcentaje óptimo de lodo en la mezcla, que sea capaz de mantener la resistencia adecuada de 14 MPa requerida en la norma NTE INEN 3049.

### Gráfica 4.3

Porcentaje óptimo de lodo



Elaborado: Défaz, M.; Echeverría, M., 2021

Ecuación:

$$y = 22,214x^{-0,668}$$

Donde:

**y=14 MPa:** resistencia a la compresión, MPa

**x:** porcentaje óptimo de lodo

Al reemplazar los datos conocidos en la ecuación se obtuvo que el porcentaje de lodo apropiado es del 2%, para obtener una resistencia de un mampuesto no estructural.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- El contenido de humedad en el lodo es de 242,8% como consecuencia de las precipitaciones, el agua rodea las grasas creando micro jaulas esto provoca la creación de más espacios. La formación de uniones de grasa y cal se produce por la capacidad absorbente del mortero para atraparlos en una mezcla homogénea y sólida. La gran cantidad de carbono y oxígeno presentes en las grasas los convierte en un elemento soluble a la exposición del calor. La cal tiene como característica la retención de agua debido a la finura de sus partículas.
- El resultado obtenido del ensayo de densidad de sólidos en el lodo es de 1,7 g/cm<sup>3</sup>, este valor es bajo comparado al suelo analizado el cual tiene 2,438 g/cm<sup>3</sup>, esta diferencia puede deberse a que el lodo se encuentra compuesto en gran proporción por ácidos grasos que son de origen animal. El elemento presente en mayor cantidad en las grasas es el oxígeno, el cual en el proceso de deaireación redujo la cantidad de masa de la lechada del lodo que contribuye a una reducción de densidad del residuo.
- Con un 79% de partículas finas y un 17% en el índice de plasticidad se concluye según la clasificación SUCS, que el suelo analizado es una arcilla de baja plasticidad (CL). El suelo analizado a pesar de estar compuesto en gran proporción por partículas finas tiene un índice de plasticidad bajo, esto puede ser porque su composición química es de cuarzo y derivados del feldespato los cuales no tienen estructura laminar, por lo tanto tienen menor compresibilidad y cohesión, por otro lado la permeabilidad y el ángulo fricción interno aumentan. La baja plasticidad de un suelo no permiten



desarrollar flexibilidad y como resultado no resisten ante las deformaciones rápidas que implican en una pérdida de volumen que se presenta en forma de grietas y desagregación del elemento.

- En el ensayo de granulometría por hidrómetro se evidenció la inmediata sedimentación del lodo, el cual se observa cuando las partículas de óxido de calcio (CaO) entran en contacto con agua y se sobresaturan desprendiéndose de la materia orgánica y depositándose de forma rápida en la base del matraz, lo cual no permitió obtener resultados. Adicionalmente, no fue posible determinar los Límites de Atterberg ya que el lodo absorbía agua cambiando el contenido de humedad rápidamente, impidiendo así formar los cilindros de 3,2mm de diámetro para la determinación del límite plástico. Por lo anteriormente expuesto se puede concluir que el lodo por su composición no puede ser ensayado como suelo.
- De acuerdo a la mineralogía presente en el suelo se tiene un 82% de Plagioclasas, 10% de Moscovita, 5% de Cordierita y 3% de Cuarzo. Mientras que el lodo cuenta con Calcita en un 73%, Cal (Lime) con un 25% y Meionita en un 2%, se observa que no tienen minerales en común, de esta manera se puede concluir según el análisis de los resultados de resistencia a compresión que el lodo no tiene minerales capaces de realizar un aporte para mejorar o igualar la resistencia del ladrillo. Además se considera que las plagioclasas son resultado de un proceso de meteorización química y descomposición de feldspatos, cuyo tamaño de partículas es demasiado pequeño y plano que puede afectar la plasticidad y compresibilidad de un elemento estructural que tienen como objetivo resistir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas y de igual forma disiparlas en caso de desastres naturales.
- En el análisis de Fluorescencia de Rayos X del suelo se observa un valor de 17,83% correspondiente al  $Al_2O_3$  y 52,02% de  $SiO_2$ . Por otro lado el

lodo tiene apenas un 4,12% de  $Al_2O_3$  y 1,98% de  $SiO_2$ . Con estos resultados se corrobora que el suelo en estudio tiene gran presencia de aluminosilicatos, los cuales le convierten en un material adecuado para la elaboración de ladrillos de calidad por compuestos mineralógicos de aluminio y silicio, que son utilizados de base en diversos materiales de construcción como el cemento, vidrio y en muchos tipos de arcillas como caolín, conocida como fuente de fabricación en materiales cerámicos.

- El lodo primario y secundario producto del tratamiento de aguas residuales es un desecho difícil de manejar, por la cantidad de humedad que tiene en el proceso, por esto es necesario agregarle cal que es un elemento biocida ideal para la desinfección y eliminación de bacterias que generan mal olor al igual que para la reducción de humedad y facilidad de adherencia con materias orgánicas. Se puede confirmar este parámetro con el ensayo de Fluorescencia de Rayos X, ya que se evidencia que el elemento predominante en comparación con los demás óxidos es la cal con un 27,03%.
- Luego del proceso de pulverización las partículas tienen un diámetro máximo de 0,85mm, esto pudo alterar los resultados en la granulometría ya que, según sus compuestos químicos, el suelo analizado debería ser un suelo arcilloso y no una arcilla, lo que demuestra la difracción por rayos X es la ausencia de Illita, motmorillonita o caolinita, compuestos característicos de minerales arcillosos ya que poseen feldespatos y son ricos en silicatos, aluminatos propios de rocas ígneas básicas.
- Las propiedades físicas que presentan los ecoladrillos no permite su aplicación en elementos no estructurales según la norma NTE INEN 3049. Los porcentajes obtenidos de resistencia en comparación al ladrillo patrón se redujeron en un 49,2%, 28,05%, 18,3%, 16,4% y 16,1%

correspondientes a las dosificaciones del 5%, 10%, 15%, 20% y 30%. Mientras más lodo se agrega más se reduce la resistencia a la compresión. Sin embargo, pueden ser utilizados para cerramientos, paredes divisorias, jardinerías, estructuras de hornos, etc.

- En investigaciones pasadas se ha demostrado que un máximo del 10% de cal mezclado con suelo CL mejora notablemente la resistencia a la compresión en ladrillos, debido a que la cal reacciona con el sílice del suelo para formar calcita y silicato hidratado de calcio, siendo este último compuesto el encargado de mejorar la resistencia. Sin embargo los ladrillos con 5% y 10% de lodo no aumentaron la resistencia, esto pudo deberse a que la grasa no permitió que la cal se adhiriera al suelo y cuando el calor derritió la grasa, la cal se desprendió del ladrillo dejando porosidades y como consecuencia de ellos la reducción de resistencia a la compresión del ladrillo.
- Con ayuda de la Gráfica 4.3 de Resistencia Vs Lodo (%) se concluye que el 2% de lodo es lo óptimo, para reemplazar la arcilla y que de esa manera no se vea afectada la resistencia de 14 MPa, requerida para mampuestos no estructurales. La reducción del lodo disminuye los poros y como consecuencia el ladrillo conserva la resistencia óptima.
- La resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón se encuentra en la norma NTE INEN 3066, en la misma se observa que la clase B para mampostería no estructural requiere 4 MPa y para la clase C es decir alivianamientos en losas de 1,7 MPa. Por lo cual se concluye que los ladrillos ecológicos con dosificación del 10% y resistencia de 4,72 MPa, podrían reemplazar los bloques en estructuras no sujetas a presión o muros sin soporte de carga. Por otro lado aun cuando los ladrillos ecológicos de 15%, 20% y 30% de lodo con resistencias de 3,08 MPa; 2,76 MPa y 2,71

MPa respectivamente cumplen la resistencia para alivianamientos de losas, no se recomienda debido a que su peso es mayor al del bloque de hormigón.

- Los valores obtenidos en los ensayos de absorción de agua del ladrillo patrón y las diversas dosificaciones, superaron el 17% máximo permitido por la norma NTE INEN 3049. Por este motivo para las fachadas, los ladrillos no tendrían un comportamiento adecuado, pero podrían ser usados en mamposterías interiores.
- El contenido de grasa acumulada se evaporó en el quemado de los ladrillos ecológicos, esto creó porosidades que fueron más evidentes en la dosificación del 30%. Los poros presentes en los ladrillos funcionan como capilares en con contacto con el agua, es decir mientras más poros más agua. Cuando se coloca el mortero entre los ladrillos estos succionan una parte del agua del mortero y afectan la adherencia, esta a su vez baja la resistencia y durabilidad del mampuesto. Con ayuda de las propiedades físicas de los ladrillos, se verificó que dichos espacios reducen la resistencia del mampuesto. Cuando la absorción es alta el ladrillo puede cambiar su volumen significativamente o adquirir permeabilidad alta a la penetración de agua esto puede ocasionar decoloraciones.
- Se comparó el tiempo estimado de producción del ladrillo común con los ecoladrillos, estos últimos presentaron un aumento de tiempo de un mes debido a la capacidad de retención de agua que tiene el lodo, lo que ralentizó el proceso de secado.
- El costo de elaboración del ladrillo patrón es de 22 centavos. Debido al transporte del lodo residual desde la ciudad de Quito hasta Ibarra el costo del ladrillo con la dosificación del 5%, se incrementa a 39 centavos (**Anexo**

7). Se concluye que el costo es elevado para una construcción de gran magnitud.

- Para determinar la eficiencia del lodo residual de una planta de lácteos como reemplazo parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos, se consideró parámetros como tiempo de producción, costo de elaboración y resultado de resistencia a la compresión. De lo antes mencionado se concluye que la eficiencia se reduce en un 59% de ladrillo con el 5% de lodo en comparación con el ladrillo patrón. Si bien es cierto su eficiencia es media y su costo elevado sin embargo, podrían ser usados en una construcción ecológica.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- En esta investigación se ha verificado que el residuo no es tóxico ni nocivo para el medio ambiente. Sin embargo, el volumen que ocupa en los rellenos sanitarios se convierten en una problemática ambiental como resultado de una gran cantidad que se genera de manera semanal. La cual a su vez reduce la capacidad de los rellenos dejando como resultado la búsqueda de nuevos espacios para la disposición final de este desecho. Es por esto que se recomienda la utilización del lodo producto de una planta de lácteos en otros elementos no estructurales como decoraciones o aprovechar su carga orgánica para generar fertilizantes beneficiosos para la tierra e impulsar el sector agrícola creando nuevas ideas para el uso de este residuo.
- Es importante conocer la composición física, química y mineralógica de la arcilla para predecir su comportamiento durante la cocción, y así modificar el método de fabricación de ladrillos con el objetivo de mejorar el resultado final.
- La fase de cocción es de gran importancia para la resistencia del ladrillo es por esto que se indica la necesidad de implementar hornos industriales que garanticen una distribución de calor homogénea en los mampuestos.
- De los resultados obtenidos se evidencia que el porcentaje de mezcla óptima es baja. Debido a esto se recomienda buscar nuevas alternativas en favor al medio ambiente innovando en nuevos materiales de construcción que reduzcan su grado de contaminación en el área de producción. Se debe tomar en cuenta que los proyectos eco amigables en un futuro llegaran a ser lo primordial. Además, se recuerda que todo cambió en favor al ambiente hará la diferencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2012). Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Redalyc.Org*, 22(1), 43–58. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>
- Alianza por el Agua. (2014). *MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MONOGRÁFICOS AGUA EN CENTROAMÉRICA Con la colaboración.* 3, 1–264. <http://idiaqua.eu/web/wp-content/uploads/2018/07/monografico3.pdf>
- Amador, A., Veliz, E., & Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181642434003>
- Aparicio, M., & Carbajal, G. (2010). Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 3(2), 62–72. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2010.2.52223>
- Asaduzzaman, A. (2018, April). *INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.* [https://www.researchgate.net/publication/324532324\\_INTRODUCTION\\_TO\\_SEWAGE\\_TREATMENT](https://www.researchgate.net/publication/324532324_INTRODUCTION_TO_SEWAGE_TREATMENT)
- ASTM D2216-19. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM*, 1–7. <https://doi.org/10.1520/D2216-19>
- ASTM D2487-17e1. (2017). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) . *ASTM*, 1–10. <https://doi.org/10.1520/D2487-17E01>
- ASTM D4318-17e1. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM*, 1–20. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>

- ASTM D6913/D6913M-17. (2017). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis 1. *ASTM*, 1–34. [https://doi.org/10.1520/D6913\\_D6913M-17](https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17)
- ASTM D7928-17. (2017). Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis 1. *ASTM*, 1–25. <https://doi.org/10.1520/D7928-17>
- ASTM D854-14. (2014). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer 1. *ASTM*, 1–8. <https://doi.org/10.1520/D0854-14>
- Braja M. Das. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.
- Cachago, M., & Caguano, C. (2016). *UTILIZACIÓN DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA FRANZ VIEGENER F.V.-ÁREA ANDINA S.A. PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6928/1/T-UCE-0011-221.pdf>
- Calderón, M. (2018). *ANÁLISIS COMPARATIVO Y PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SEDAPAL*. [http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2708/CALDERON DE LA CRUZ MARCELITA DEL CARMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2708/CALDERON_DE_LA_CRUZ_MARCELITA_DEL_CARMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camargo, L., & Yambay, B. (2020). *Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe*. Universidad Central del Ecuador.
- Carrera, J., María, M., & Suárez-Ojeda, E. (2019). *Aguas residuales industriales en Iberoamérica*. <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2019/10/Libro-Aguas-industriales-Iberoamerica.pdf>
- Centro de Asesoría Laboral del Perú (CEDAL). (2005). *Desafíos del Derecho Humano al Agua en el*. [www.alter.org.pe](http://www.alter.org.pe)



- Centro de la Industria Láctea del Ecuador. (2015). *La Leche del Ecuador - HISTORIA DE LA LECHERÍA ECUATORIANA*. [https://e152f73b-81b4-4206-a6ee-8b984b6a13b0.filesusr.com/ugd/6cc8de\\_48be52bff910412392ce227a705ddc42.pdf](https://e152f73b-81b4-4206-a6ee-8b984b6a13b0.filesusr.com/ugd/6cc8de_48be52bff910412392ce227a705ddc42.pdf)
- Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEA). (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*.
- Coordinación General de Minería. (2014). Perfil de Mercado del Feldespato. In *Secretaría de Economía*. [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_feldespatos\\_2014.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_feldespatos_2014.pdf)
- Cuti, S., & Urbina, A. (2018). *Análisis de la Re-Valorización de biosólidos de la PTAR, El Peral, Ambato, para insumos de mampostería*. Escuela Politécnica Nacional.
- De La Cruz, E. (2018). *Fluorescencia de rayos X y su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras*.
- Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX). (2021a). *Resultados Análisis de Difracción de Rayos X. 1*.
- Departamento De Metalurgia Extractiva (DEMEX). (2021b). *Resultados análisis Fluorescencia de rayos X. 2, 1*.
- Ekos. (2020, August 11). *Seis décadas de Pasteurizadora Quito | Ekosnegocios*. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/seis-decadas-de-pasteurizadora-quito>
- El Mercurio. (2020, August 13). *60 Años de Pasteurizadora Quito | Diario El Mercurio*. <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/08/13/60-anos-de-pasteurizadora-quito/>
- García, M. E., Pérez, J. A., & Generalidades, L. (n.d.). *AGUAS RESIDUALES. COMPOSICIÓN*.
- García, N., Ibarra, A., & López, C. (2013). Characterization of Clays Used in Ceramic Paste for Brick Elaboration in Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*, N°20, 1–20. <http://oaji.net/articles/2015/2065-1432479456.pdf>

- Guarín, A., Molina, J., & Bermúdez, J. (2021). Effect of use residual sludge from watertreatment plants as a partial substitute forclay for refractory bricks production. *UIS Ingenierías*, 20(1), 11–22. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/10914/11024>
- Gurumendi, C. (2020, April 7). *Operatividad Pasteurizadora Quito*. [https://www.youtube.com/watch?v=d2HtoP1bF\\_I](https://www.youtube.com/watch?v=d2HtoP1bF_I)
- INEN 3049. (2018). <https://drive.google.com/file/d/1Sk5pfgEW5CI2KO1WnZhK3L6PigL0Zsi-/view>
- Justo, Á., & Morillo, E. (1999). Técnicas de difracción de rayos X para la identificación cualitativa y cuantitativa de minerales de la arcilla. *Ciencia y Tecnología de Materiales*, 2, 77–86. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/79501/4/Técnicas de difracción de rayos X.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/79501/4/Técnicas%20de%20difracción%20de%20rayos%20X.pdf)
- Laboratorio de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN). (2010). Manual de Operación del difractor de rayos X D8 ADVANCE, BRUKER AXS. *Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica división de Materiales Avanzados División de Materiales Avanzados*, 1–30. [http://www.linan-ipicyt.mx/Manual XRD.pdf](http://www.linan-ipicyt.mx/Manual%20XRD.pdf)
- López, M., Veliz, E., Fernández, L., & Espinosa, M. D. C. (2010). *Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico Sludge treatment. A necessary step inside the technological process*. 4–8.
- Mamlouk, M., & Zniwski, J. (2006). *Materiales para Ingeniería Civil* (P. P. Hall (Ed.); 2da edición).
- Ministerio del Ambiente. (2015). Registro Oficial 387 - AM 140. *Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA)*, 1–184.
- Organismo De Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *FISCALIZACIÓN*

*AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES.*

[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827#:~:text=Son aquellas aguas cuyas características,descargadas al sistema de alcantarillado.](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son+aquellas+aguas+cuyas+características,descargadas+al+sistema+de+alcantarillado.)

Paca, F. (2017). *Evaluación de Residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas Residuales procedentes de la Industria Láctea* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7881/1/96T00400.pdf>

Planta de lácteos. (2021). *INFORME DE RESULTADOS No. 6120-1 1.-.*

Polanco, J., Cavia, S., & García, C. (2015). *Materiales de Construcción. Lección 13. Cerámica y vidrio.* <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion13.pdf>

Quinchía, A., Valencia, M., & Giraldo, J. (2007). Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. *Uso de Lodos Provenientes de La Industria Papelera En La Elaboración de Paneles Prefabricados Para La Construcción*, 4(8), 9–19. <https://doi.org/10.24050/reia.v4i8.182>

Sánchez, J., García, M. D. L., & Balderas, Y. (2005). *Química I.*

Sanmartín, L. (2020, June 18). *Vita, reconocida como la marca de lácteos más elegida en Ecuador - SR Radio.* <https://www.srradio.com.ec/vita-reconocida-como-la-marca-de-lacteos-mas-elegida-en-ecuador/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México (SEMARNAT). (2002). Nom-004-Semarnat-2002. In *Diario Oficial*. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf%5Cnhttp://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf%5Cnhttp://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997)

Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. (1986). *Mapa general de suelos del Ecuador.* Quito: Instituto Geográfico Militar, 1986. <http://repositorio.casadelacultura.gob.ec//handle/34000/17669>

- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (n.d.). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. In *Revista Ingeniería de Construcción* (Vol. 27, Issue 3). [www.ricuc.cl](http://www.ricuc.cl)
- Torres, W. (2019, July 1). Por pobreza y hábitos, las familias en Ecuador acceden a menos leche de la que deberían consumir. *PRIMICIAS*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/familias-mitad-leche-consumo-pobreza/>
- Valdez, E., & Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. *Fundación Ica*, 341. [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_tratamiento\\_y\\_disposicion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_civilgeeks.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf)
- Valdez, P., Barragán, B., Girbes, I., Shuttleworth, N., & Cockburn, A. (2011). Uso de residuos de la industria del mármol como filler para la producción de hormigones autocompactantes. *Materiales de Construcción*, 61(301), 61–76. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.55109>
- Yagüe, A., Valls, S., Vázquez, E., & Kuchinow, V. (2002). Use of dry sludge from waste water treatment plants as an additive in prefabricated concrete bricks. *Materiales de Construcción*, 2002(267), 31–41. <https://doi.org/10.3989/mc.2002.v52.i267.324>

**ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO REALIZADO EN EL**  
**LABORATORIO LEMSUR**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## GRANULOMETRIA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 21-0036 - I  
Hoja 01 de 03

Quito, 16 de marzo de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
Teléfono: 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.

Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: IBARRA  
TIPO DE MUESTRA: SUELO  
PROFUNDIDAD: \*\*\*  
NORMA: ASTM D6913-17 ; ASTM D7928-17 ; ASTM D854-14

Método de Preparación:	Seca	
Peso Inicial Húmedo:	65,72	g.
Contenido de humedad:	0,0	%
Peso Inicial Seco:	65,72	g.
Pasante tamiz No. 200:	78,6	%

Tipo de Hidrómetro:	H152	
Corrección por Menisco (C <sub>m</sub> ):	1	
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> ):	2,44	g/cm <sup>3</sup>
Cantidad de (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> :	6,25	g.

TAMIZ No.	APERTURA (mm)	PESO RET. (g)	PESO RET. (%)	PESO RET. ACUMULADO (%)	PESO PASANTE (%)
4	4,750	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
10	2,000	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
20	0,850	0,32	0,5%	0,5%	99,5%
40	0,425	0,70	1,1%	1,6%	98,4%
60	0,250	3,01	4,6%	6,1%	93,9%
100	0,150	4,32	6,6%	12,7%	87,3%
140	0,106	3,08	4,7%	17,4%	82,6%
200	0,075	2,62	4,0%	21,4%	78,6%
BANDEJA	-	51,67	78,6%	100,0%	0,0%
TOTAL		65,72			

TIEMPO (min)	LECTURA r <sub>m</sub>	TEMPERATURA T <sub>t</sub> (°C)	CAÍDA EFECTIVA H <sub>m</sub>	DIÁMETRO D <sub>m</sub>	PESO PASANTE N <sub>m</sub> (%)
1	38	16	10,38	0,0470	48,2%
2	31,5	16	11,55	0,0351	37,7%
4	29	16	12,00	0,0253	33,7%
15	25	16	12,72	0,0134	27,3%
30	22,5	16	13,17	0,0097	23,3%
60	19	16	13,80	0,0070	17,7%
120	16	16	14,34	0,0050	12,8%
240	14,5	16	14,61	0,0036	10,4%
1440	12	16	15,06	0,0015	6,4%

**OBSERVACIÓN:** La procedencia y las fechas de fabricación de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. PAUL ZUNIGA M.  
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 21-0036 - I  
Hoja 02 de 03

Quito, 16 de marzo de 2021

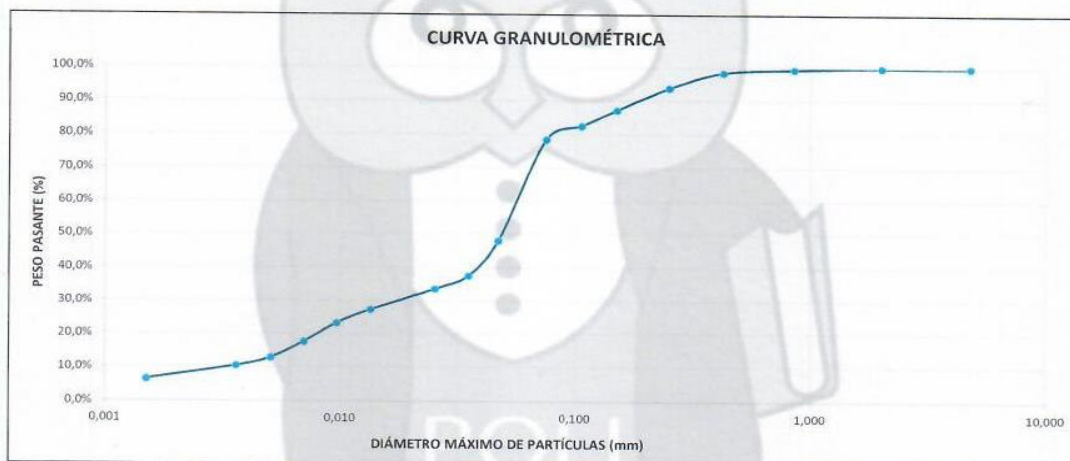
### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
Teléfono: 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.

Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: IBARRA  
TIPO DE MUESTRA: SUELO  
PROFUNDIDAD: \*\*\*  
NORMA: ASTM D6913-17 ; ASTM D7928-17 ; ASTM D854-14



**OBSERVACIÓN:** La procedencia y las fechas de fabricación de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. PAUL ZÚNIGA M.  
JEFE DEL LABORATORIO







# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 21-0036 - I  
Hoja 03 de 03

Quito, 16 de marzo de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
Teléfono: 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: IBARRA  
TIPO DE MUESTRA: SUELO  
PROFUNDIDAD: \*\*\*  
NORMA: ASTM D6913-17 ; ASTM D7928-17 ; ASTM D854-14

CONDICIONES DEL ENSAYO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	METODO DE EJECUCIÓN	MÉTODO DE REMOCIÓN DE AIRE	VOLUMEN DEL MATRAZ A 20 °C (ml)	MATRAZ No.	TEMPERATURA (°C)
	SUELO ***	A	Vacío	500,00	1	16,00

DATOS DEL ENSAYO						
CÓDIGO	PESO DEL MATRAZ (g)	PESO DEL MATRAZ + AGUA (g)	PESO SUELO SECO (g)	PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO (g)	G <sub>s</sub> T <sub>1</sub> c: (g/cm <sup>3</sup> )	α = g <sub>T1c</sub> / g <sub>20 °C</sub>
	163,70	663,20	32,36	682,28	2,437	1,0008

DENSIDAD DE SÓLIDOS		
G <sub>s</sub> 20 °C	2,438	g/cm <sup>3</sup>

**OBSERVACIÓN:** La procedencia y las fechas de fabricación de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. PAUL ZUÑIGA M.  
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

INF.No 21 - 0035- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de marzo de 2021

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: MADELAINÉ DÉFAZ, MARJORIE ECHEVERRÍA  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
Teléfono: 0987158136; 0969083687

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: SUELO  
UBICACIÓN: IBARRA  
PROFUNDIDAD: \*\*\*  
NORMA: ASTM D2487

FECHA DE ENSAYO: 2021-03-10

DATOS DE LA MUESTRA	
MÉTODO DE PREPARACIÓN:	VÍA HÚMEDA
MÉTODO DE REMOCIÓN DE PARTICULAS $\geq 0.425$ mm:	LAVADO
PRESENCIA DE DIFERENTES ESTRATOS:	NO
PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO:	SI
TAMAÑO MÁXIMO APROXIMADO DE PARTICULA (mm):	4.750

RESUMEN DE RESULTADOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD, W (%)=	41
LÍMITE LÍQUIDO, LL (%)=	42
LÍMITE PLÁSTICO, LP (%)=	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP (%)=	17
CLASIFICACIÓN SUCS=	CL

DESCRIPCIÓN:
Arcilla inorgánica de baja plasticidad con arena

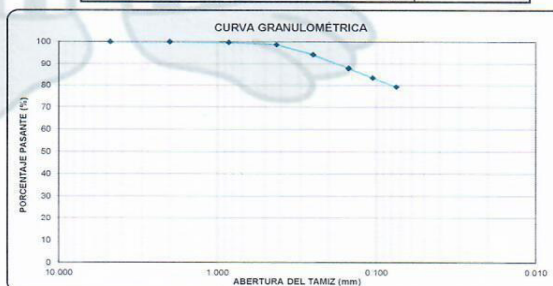
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)		
MÉTODO DE ENSAYO:	MÉTODO A (1%)	
PRUEBA N°	1	2
ID. CÁPSULA	S-056	N50
Peso cápsula (g)	9.89	9.30
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	60.42	60.10
Peso cápsula + suelo seco (g)	45.81	45.54
Contenido de humedad (%)	41	40

GRANULOMETRÍA (ASTM D6913-17)					
PESO INICIAL (g):		47.76	PESO CORREGIDO (g):		33.87
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
No. 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 10	2.000	0.02	0.06	0.06	99.94
No. 20	0.850	0.10	0.30	0.35	99.65
No. 40	0.425	0.32	0.94	1.30	98.70
No. 60	0.250	1.55	4.58	5.88	94.13
No. 100	0.150	2.08	6.14	12.02	87.98
No. 140	0.106	1.50	4.43	16.44	83.56
No. 200	0.075	1.44	4.25	20.70	79.30
BANDEJA	-	26.86	79.30	100.00	0.00
TOTAL		33.87			

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318-17)		
TIPO DE RANURADOR:	PLANO	
MÉTODO DE ENSAYO:	UN PUNTO (MECÁNICO)	
N° golpes	23	21
ID. CÁPSULA	S-124	S-196
Peso cápsula (g)	10.00	10.02
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	17.12	17.56
Peso cápsula + suelo seco (g)	14.98	15.30
LL <sub>n</sub> (%)	42.6	42.1

RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA	
CONTENIDO DE GRAVA, (%)=	0
CONTENIDO DE ARENA, (%)=	21
CONTENIDO DE FINOS, (%)=	79
Cu=	***
Cc=	***

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-17)		
MÉTODO DE ENSAYO:	ENROLLADO MECÁNICO	
PRUEBA N°	1	2
ID. CÁPSULA	S-243	S-180
Peso cápsula (g)	9.43	9.89
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	16.68	16.14
Peso cápsula + suelo seco (g)	15.25	14.91
Contenido de humedad (%)	25.0	25.0



OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (muestra, ubicación y profundidad) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.

ING. PAÚL ZUÑIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO (E)

**ANEXO 2**  
**RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL LODO RESIDUAL REALIZADO EN EL**  
**LABORATORIO LEMSUR**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## GRANULOMETRÍA DE SUELOS POR TAMIZADO

INF.No 21 - 0034 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de marzo de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

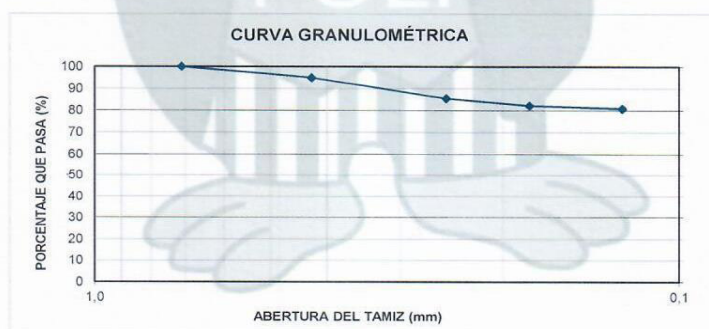
**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**MUESTRA:** LODO  
**UBICACIÓN:** PASTEURIZADORA QUITO S.A.  
**PROFUNDIDAD:** \*\*\*  
**NORMA:** ASTM D6913

PESO INICIAL (g)	47,41	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	242,8		
TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
No. 40	0,710	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 60	0,425	0,7	5,1	5,1	94,9
No. 100	0,250	1,3	9,4	14,5	85,5
No. 140	0,180	0,5	3,3	17,9	82,1
No. 200	0,125	0,2	1,4	19,2	80,8
BANDEJA	-	11,2	80,8	100,0	0,0
<b>TOTAL</b>		<b>13,8</b>			

**OBSERVACIONES:** Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.  
La muestra analizada no constituye un suelo, se trata de una mezcla de desechos procedentes de la pasteurizadora.



ING. PAÚL ZÚÑIGA M.  
JEFE DEL LABORATORIO (E)

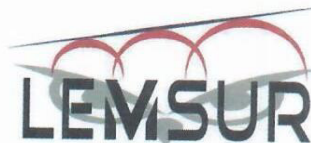


Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## DENSIDAD DE SÓLIDOS

INF. No. 21 - 0037 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 16 de marzo de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón Social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA (EPN)  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**PROCEDENCIA:** PASTEURIZADORA QUITO S.A.

**TIPO DE MUESTRA:** LODO

**FECHA DE ENSAYO:** 2021-03-15

**NORMA:** ASTM D 854

CONDICIONES DEL ENSAYO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	METODO DE EJECUCIÓN	MÉTODO DE REMOCIÓN DE AIRE	VOLUMEN DEL MATRAZ A 20 °C (ml)	MATRAZ No.	TEMPERATURA (°C)
4 - I	***	A	Bomba de vacío	500	1	15.0

DATOS DEL ENSAYO						
CÓDIGO	PESO DEL MATRAZ (g)	PESO DEL MATRAZ + AGUA (g)	PESO SUELO SECO (gr)	PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO (g)	G <sub>s</sub> T°C (g/cm <sup>3</sup> )	α = g T°C / g 20°C
4 - I	163.72	662.38	14.73	668.42	1.70	1.0009

DENSIDAD DE SÓLIDOS		
G <sub>s</sub> 20°C	1.70	g/cm <sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** La procedencia y las fechas de fabricación de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. PAÚL ZUÑIGA  
JEFE DEL LABORATORIO (E)



**ANEXO 3**  
**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) REALIZADO**  
**EN EL LABORATORIO DEMEX**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



**Resultados Análisis de Difracción de Rayos X**

**Solicitante** : Srta. Marjorie Echeverría.  
**No. Referencia** : RM - 10154  
**Fecha** : 01 - 09 - 2021  
**Muestras recibidas** : Dos muestras sólidas denominadas:  
**Muestra 1** : Suelo (*Código registrado según cliente*).  
**Muestra 2** : Lodo (*Código registrado según cliente*).

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en las muestras se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)
Plagioclasas	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$	82
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	10
Cordierita	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	5
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	3

Mineral	Fórmula	Muestra 2 Contenido (%)
Calcita	$\text{CaCO}_3$	73
Lime	$\text{CaO}$	25
Meionita	$\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)$	2

**NOTA:** El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. La muestra dos fue calcinada a 650 grados centígrados durante dos horas, para conseguir una mejor definición del difractograma. El análisis fue realizado en las cenizas que corresponde al 32,95 % de la muestra original.

Las muestras presentan material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

**ERNESTO HALE** Firmado digitalmente por  
**DE LA TORRE** ERNESTO HALE DE LA  
**CHAUVIN** TORRE CHAUVIN  
 Fecha: 2021.09.02  
 20:55:56 -05'00'

Ing. Ernesto de la Torre PhD.  
**Jefe de Departamento**



Firmado digitalmente por  
**EVELYN PAMELA**  
**CRIOLO TIRADO**

MSc. Evelyn Criollo  
**Jefa de Laboratorio**

**ANEXO 4**  
**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)**  
**REALIZADO EN EL LABORATORIO DEMEX**





## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

### Resultados de Análisis

**Solicitante:** Srta. Marjorie Echeverría.

**Referencia:** RM - 10154

**Fecha:** 15/09/2021

**Muestras recibidas:** Dos muestras sólidas denominadas:

**Muestra 1:** Suelo (*Código registrado según cliente*)

**Muestra 2:** Lodo (*Código registrado según cliente*)

### Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1	Muestra 2	Óxidos	Muestra 1	Muestra 2
	Contenido (%)	Contenido (%)		Contenido (%)	Contenido (%)
Na	1,83	0,11	Na <sub>2</sub> O	2,47	0,14
Mg	0,79	0,26	MgO	1,31	0,43
Al	9,44	2,18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,83	4,12
Si	24,32	0,93	SiO <sub>2</sub>	52,02	1,98
P	0,06	0,80	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	1,83
K	0,77	0,02	K <sub>2</sub> O	0,92	0,02
Ca	2,42	19,32	CaO	3,39	27,03
Ti	0,35	0,01	TiO <sub>2</sub>	0,58	0,01
Mn	0,12	---	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	---
Fe	4,21	0,13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,02	0,18
S	0,03	0,43			

**Nota:** A solicitud del cliente los resultados se expresan como óxidos, mediante cálculo estequiométrico a partir del análisis elemental (FRX).

### Resultados pérdidas por calcinación

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOL durante media hora, a la temperatura de 950 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Muestras	Valor
Muestra 1	11,9 %
Muestra 2	58,0 %

Ing. Ernesto de la Torre PhD.  
**Jefe de Departamento**

MSc. Evelyn Criollo  
**Jefa de Laboratorio**

**ANEXO 5**  
**RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REALIZADO EN EL**  
**LABORATORIO LEMSUR**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPRESIÓN DE LADRILLOS

INF. No. 21 - 0088 - I  
Hoja 01 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA ROTURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)					
1	P1	17,5	17,1	17,5	17,2	8,8	1,57	300,13	344,90	11,49
2	P2	17,4	17,0	17,7	17,0	9,1	1,56	298,35	462,20	15,49
3	P4	17,0	16,9	16,9	16,9	8,9	1,53	286,46	569,50	19,88
4	P5	17,0	17,1	17,1	17,1	8,8	1,51	291,56	519,80	17,83
5	P8	17,4	17,1	17,3	17,0	8,7	1,52	295,82	575,40	19,45
PROMEDIO:							1,54	294,46	494,36	16,83

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING. PAUL ZUNIGA  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPRESIÓN DE LADRILLOS

INF. No. 21 - 0088 - 1  
Hoja 02 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA ROTURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)					
1	5 - 1	17,2	16,5	17,2	16,6	8,1	1,43	284,66	327,50	11,50
2	5 - 2	17,1	16,2	17,2	16,2	8,4	1,39	277,83	262,90	9,10
3	5 - 3	17,3	16,2	17,3	16,3	7,9	1,46	281,13	182,20	6,48
4	5 - 4	17,4	16,5	17,3	16,6	8,5	1,36	287,14	239,80	8,35
5	5 - 5	17,3	16,5	17,2	16,4	8,3	1,31	283,77	169,10	5,96
PROMEDIO:							1,39	282,90	234,30	8,28

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING. PAUL ZÚÑIGA  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**COMPRESIÓN DE LADRILLOS**

INF. No. 21 - 0088 - I  
 Hoja 03 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

**DATOS DEL CLIENTE**

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA ROTURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)					
1	10 - 1	17,3	16,6	17,3	16,5	8,3	1,29	286,32	158,00	5,52
2	10 - 2	17,4	16,5	17,3	16,6	8,4	1,28	287,14	115,90	4,04
3	10 - 3	17,3	16,5	17,3	16,5	8,6	1,28	285,45	164,30	5,76
4	10 - 4	17,4	16,5	17,4	16,5	8,3	1,31	287,10	138,70	4,83
5	10 - 5	17,3	16,5	17,5	16,5	8,5	1,25	287,10	99,10	3,45
PROMEDIO:							1,28	286,62	135,20	4,72

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING. PAUL ZUÑIGA  
 JEFE DE LABORATORIO (E)



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**COMPRESIÓN DE LADRILLOS**

INF. No. 21 - 0088 - 1  
Hoja 04 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

**DATOS DEL CLIENTE**

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ, MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA ROTURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)					
1	15 - 1	16,3	17,4	16,3	17,3	8,4	1,34	282,81	120,20	4,25
2	15 - 2	17,6	18,5	17,5	16,5	8,5	1,32	289,56	77,32	2,67
3	15 - 3	17,2	16,3	17,3	16,5	8,4	1,18	282,91	94,20	3,33
4	15 - 4	17,3	16,2	17,2	16,4	8,3	1,30	281,17	70,90	2,52
5	15 - 5	17,3	16,3	17,2	16,5	8,7	1,32	282,90	73,84	2,61
PROMEDIO:							1,29	283,87	87,43	3,08

**OBSERVACIONES:** El muestreo es responsabilidad del cliente.  
La muestra 15-2 no se consideró para el cálculo del promedio debido a que presenta un valor de resistencia atípico.

ING. PAUL ZUÑIGA  
JEFE DE LABORATORIO (E)



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPRESIÓN DE LADRILLOS

INF. No. 21 - 0088 - 1  
Hoja 05 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0909083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO	PESO ESPECÍFICO	ÁREA PROMEDIO	CARGA ROTURA	ESFUERZO
		LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO					
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(MPa)
1	20 - 1	17,1	16,5	17,0	16,4	8,5	1,19	280,48	84,00	2,99
2	20 - 2	17,5	16,5	17,3	16,4	8,4	1,17	286,24	107,00	3,74
3	20 - 3	17,4	16,8	17,4	16,4	8,5	1,16	288,84	83,10	2,88
4	20 - 4	17,1	16,3	17,3	16,0	8,4	1,24	277,77	68,70	2,47
5	20 - 5	17,0	16,4	17,0	16,3	8,5	1,20	277,95	47,10	1,69
PROMEDIO:							1,19	282,25	77,98	2,76

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING PAUL ZÚÑIGA  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPRESIÓN DE LADRILLOS

INF. No. 21 - 0088 - I  
Hoja 06 de 06

Quito, 28 de julio de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS  
**Contratante:** \*\*\*  
**Contratista:** \*\*\*  
**Fiscalizador:** \*\*\*  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-07-21  
**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA ROTURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)					
1	30 - 1	17,2	16,4	17,2	16,4	8,5	1,15	282,08	65,00	2,30
2	30 - 2	17,0	16,5	17,2	16,4	8,6	1,20	281,29	80,70	2,87
3	30 - 3	17,3	16,6	17,2	16,2	8,4	1,23	282,91	117,00	4,14
4	30 - 4	17,4	16,2	17,1	16,5	8,4	1,22	282,02	59,20	2,10
5	30 - 5	17,3	16,5	17,2	16,6	8,6	1,16	285,49	60,60	2,12
PROMEDIO:							1,19	282,76	76,50	2,71

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING. PAUL ZUÑIGA  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ANEXO 6**  
**RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN DE AGUA REALIZADO EN EL**  
**LABORATORIO LEMSUR**



### ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 21 - 0086 - I

Quito, 16 de julio de 2021

Hoja 01 de 06

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA

**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA

**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO PATRÓN

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	P5	8650.0	7000.0	23.60
2	P6	8810.0	7160.0	23.00
3	P8	8890.0	7140.0	24.50
4	P9	8580.0	6950.0	23.50
5	P10	8680.0	7020.0	23.60
PROMEDIO				23.60

ING. PAÚL ZÚNIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO ( E )





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**ABSORCIÓN EN LADRILLOS**

INF. No. 21 - 0086 - I

Quito, 16 de julio de 2021

Hoja 02 de 06

**DATOS DEL CLIENTE**

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO 5% DE REEMPLAZO

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	5-1	8380.0	6340.0	32.20
2	5-2	8120.0	6280.0	29.30
3	5-3	8110.0	6290.0	28.90
4	5-4	8050.0	6270.0	28.40
5	5-5	8210.0	6350.0	29.30
PROMEDIO				29.60

ING. PAÚL ZUNIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 21 - 0086 - I

Quito, 16 de julio de 2021

Hoja 03 de 06

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO 10% DE REEMPLAZO

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	10-1	8050.0	5990.0	34.40
2	10-2	7820.0	5850.0	33.70
3	10-3	7870.0	6010.0	30.90
4	10-4	7830.0	5850.0	33.80
5	10-5	7780.0	5970.0	30.30
			<b>PROMEDIO</b>	<b>32.60</b>

ING. PAÚL ZÚNIGA M.  
 JEFE DE LABORATORIO ( E )



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



### ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 21 - 0086 - I

Quito, 16 de julio de 2021

Hoja 04 de 06

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO 15% DE REEMPLAZO

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	15-1	8110.0	8110.0	32.70
2	15-2	7810.0	5820.0	34.20
3	15-3	7650.0	5760.0	32.80
4	15-4	7920.0	5910.0	34.00
5	15-5	8190.0	6100.0	34.30
PROMEDIO				33.60

ING. PAUL ZÚNIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO ( E )





### ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 21 - 0086 - I

Quito, 16 de julio de 2021

Hoja 05 de 06

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA

**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA

**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO 20% DE REEMPLAZO

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	20-1	7490.0	5410.0	38.40
2	20-2	7380.0	5470.0	34.90
3	20-3	7710.0	5590.0	37.90
4	20-4	7530.0	5480.0	37.40
5	20-5	7340.0	5430.0	35.20
PROMEDIO				36.80

ING. PAÚL ZÚRIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO ( E )





### ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 21 - 0086 - I  
Hoja 06 de 06

Quito, 16 de julio de 2021

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** MADELAINE DÉFAZ; MARJORIE ECHEVERRÍA  
**Dirección:** LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
**Teléfono:** 0987158136; 0969083687

#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** UTILIZACIÓN DE LODOS PRODUCTO DE UNA PLANTA DE LÁCTEOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

**Contratante:** \*\*\*

**Contratista:** \*\*\*

**Fiscalizador:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLO 30% DE REEMPLAZO

**NORMA:** INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	30-1	7430.0	5260.0	41.30
2	30-2	7340.0	5350.0	37.20
3	30-3	7450.0	5450.0	36.70
4	30-4	7340.0	5250.0	39.80
5	30-5	7290.0	5300.0	37.50
PROMEDIO				38.50

ING. PAUL ZUÑIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO ( E )



**ANEXO 7**  
**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL LADRILLO PATRÓN Y LADRILLO**  
**ECOLÓGICO CON EL 5% DE LODO**



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



**Proyecto:** Utilización de Lodos producto de una planta de lácteos para la elaboración de ladrillos aplicando la norma INEN 3049

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 1 **UNIDAD:** U  
Elaboración artesanal del ladrillo patrón

## EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O					0,0036
SUBTOTAL M					<b>0,0036</b>

## MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
AYUDANTE	2	3,58	7,16	0,010	0,0716
SUBTOTAL N					<b>0,0716</b>

## MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO C=A*B
Arcilla	m3	0,025	3,50	0,0875
Agua	m3	0,010	4,00	0,0400
SUBTOTAL O				<b>0,1275</b>

## TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (A)	COSTO (B)	TARIFA ©	COSTO D=B*C
Volqueta Mina-Ibarra	m3	0,001	15,00	0,02	0,0200
SUBTOTAL P					<b>0,0200</b>

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,2227
INDIRECTO Y UTILIDADES (%)	0
OTROS COSTOS INDIRECTOS (%)	0
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,2227
VALOR OFERTADO	<b>0,22</b>

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



**Proyecto:** Utilización de Lodos producto de una planta de lácteos para la elaboración de ladrillos aplicando la norma INEN 3049

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 2 **UNIDAD:** U  
Elaboración artesanal del ladrillo ecológico con el 5% de lodo

**EQUIPO**

DESCRIPCION	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR 5% M. O					0,0072
SUBTOTAL M					<b>0,0072</b>

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
AYUDANTE	2	3,58	7,16	0,020	0,1432
SUBTOTAL N					<b>0,1432</b>

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO C=A*B
Arcilla	m3	0,024	3,50	0,0840
Agua	m3	0,013	4,00	0,0520
Lodo	m3	0,001		
SUBTOTAL O				<b>0,1360</b>

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (A)	COSTO (B)	TARIFA ©	COSTO D=B*C
Volqueta Mina-Ibarra	m3	0,001	15,00	0,02	0,0200
Camioneta Quito-Ibarra	m3	0,001	80,00	0,08	0,0800
SUBTOTAL P					<b>0,1000</b>

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,3864
INDIRECTO Y UTILIDADES (%)	0
OTROS COSTOS INDIRECTOS (%)	0
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,3864
VALOR OFERTADO	<b>0,39</b>