



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE COLTA VILLA LA UNIÓN, PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

**Tene Pilatuña Ignacio Leonel
Zambrano Armijos Mateo Israel**

Tutor:

Ph. D. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez.

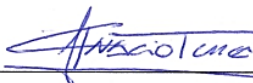
Riobamba, Ecuador. 2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Ignacio Leonel Tene Pilatuña, con cédula de ciudadanía 0604410324 y Mateo Israel Zambrano Armijos, con cédula de ciudadanía 2200215404, autores del trabajo de investigación titulado: “Evaluación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Colta Villa la Unión, para la fabricación de ladrillos artesanales”, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 01 de agosto de 2023



Ignacio Leonel Tene Pilatuña

C.I: 0604410324



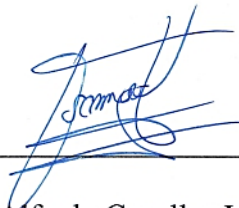
Mateo Israel Zambrano Armijos

C.I: 2200215404

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, Ph. D., catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “EVALUACION DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE COLTA VILLA LA UNION, PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES”, bajo la autoría de Ignacio Leonel Tene Pilatuña y Mateo Israel Zambrano Armijos; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 14 días de julio de 2023.



Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, Ph.D.

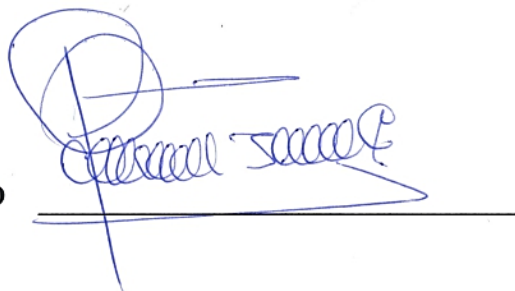
C.I: 0602214892

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “EVALUACION DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE COLTA VILLA LA UNION, PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS” por Ignacio Leonel Tene Pilatuña y Mateo Israel Zambrano Armijos, con cédula de identidad número 0604410324 - 2200215404, bajo la tutoría de Ph. D. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 01 de agosto de 2023.

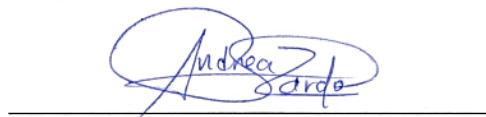
Ing. Marco Javier Palacios Carvajal. Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Cristian Andrés Marcillo Zapata. Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés. Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **TENE PILATUÑA IGNACIO LEONEL** con CC: 0604410324 y **ZAMBRANO ARMIJOS MATEO ISRAEL** con CC: 2200215404, estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **EVALUACION DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE COLTA VILLA LA UNION, PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES**", cumple con el 4%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de julio de 2023

Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez Ph. D.
TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi padre Lino Rodolfo, quien es la persona más importante de mi vida, me convirtió en el ser humano que soy ahora y con su ejemplo es el responsable de que me haya enamorado de esta profesión desde que era un niño.

También se lo dedico a mi madre Irene del Pilar, quien creyó en mí desde el primer día, con todo su amor y su apoyo incondicional me ha impulsado a cumplir mi sueño y a nunca rendirme ante ninguna circunstancia de la vida.

Como no dedicar este trabajo a mis hermanos Pedro Francisco y Valeria Monserrat quienes han sido los cómplices de alegrías, tristezas y aventuras a lo largo de la vida y de esta etapa académica, espero que les sirva de ejemplo que todo se puede lograr a base de esfuerzo y dedicación.

Finalmente dedico este trabajo a mi familia, quienes siempre han estado en todos los momentos de mi vida, con un consejo o una palabra de aliento han sido una parte fundamental para no desmayar en la lucha de este sueño.

Nacho

Quiero dedicar este trabajo a mi madre quien es una mujer ejemplar que ha logrado educarme por si sola durante toda mi vida y quien ha sido el mayor apoyo en mi vida para poder cumplir todas mis metas y sueños sin haberme negado nada en ningún momento.

Mateo Zambrano

AGRADECIMIENTO

A mis padres, ya que estoy seguro de que sin ellos a mi lado esto no habría sido posible. Gracias por todo mamá y papá.

A mis hermanos, con quienes he tenido que lidiar circunstancias que muchas veces no comprendemos, pero pese a todo estamos superando las adversidades.

A mis tíos y primos, de quienes nunca he recibido una respuesta negativa para realizar mis actividades personales y académicas, siempre me han motivado a sobreponerme a los golpes de la vida.

A mis amigos, los responsables de que mi etapa universitaria sea inolvidable.

A mi compañero de tesis Mateo Israel, por su lucha y perseverancia en la elaboración de este trabajo.

Al ingeniero Oscar Alfredo Cevallos, por la excelente labor que desempeñó como guía y tutor de este trabajo.

A las ingenieras, Cristina Polo, Michelle Bonilla y al señor Héctor Pala que desde el primer día y con mucha buena voluntad en el laboratorio nos ayudaron, guiaron y aconsejaron.

Finalmente, agradecer a la vida y al destino que me han presentado a las personas correctas, en el momento exacto.

Nacho

Agradezco principalmente a mi madre que ha sido mi apoyo emocional y económico durante toda mi vida y ha sido quien ha estado pendiente de este trabajo desde que empezó. Agradezco a mi hermano y mi familia quienes también han estado pendientes de mi durante mi carrera.

A mi compañero de tesis quien me ha ayudado demasiado para finalizar este trabajo y que nunca tuvimos conflictos o problemas entre nosotros.

Agradezco a mi pareja y su familia que se han convertido en personas muy cercanas, además de ser quienes me apoyaron y cuidaron la mayor parte del tiempo que he pasado aquí en Riobamba.

Al ingeniero Oscar Alfredo Cevallos, por su paciencia y apoyo para poder elaborar este trabajo de la mejor manera posible. También a las ingenieras, Cristina Polo, Michelle Bonilla y al señor Héctor Pala que siempre tuvieron la disposición y ganas de apoyarnos y guiarnos en las dudas y problemas que nos hemos encontrado a lo largo de este trabajo.

Finalmente agradezco a todos mis amigos más cercanos que han perdurado durante toda mi carrera y quienes han sido la motivación y ayuda para poder llegar hasta aquí.

Mateo Zambrano

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	
DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL AUTOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Introducción	16
1.2 Planteamiento del Problema	17
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 General.....	17
1.4.2 Específicos.....	17
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Agua Residual.....	18
2.2 Planta de tratamiento de agua residual.....	18
2.3 Lodo Residual	18
2.4 Mampuestos	18
2.4.1 Ladrillo	18
2.4.2 Ladrillo Artesanal.....	19
2.4.3 Materia Prima de ladrillos.	19
2.4.4 Materiales Reciclados en Mampuestos.....	19
2.5 Horno Artesanal.....	19
2.6 Clasificación del Suelo.	20
2.7 Límites de Atterberg.	20
2.8 Índice de Plasticidad	20
2.9 Estado del Arte.....	20
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.	22
3.1 Tipo de Investigación.....	22
3.2 Esquema Metodológico.	22
3.3 Diseño de Investigación.....	22
3.4 Técnicas de recolección de Datos.....	23

3.5	Materiales.....	23
3.5.1	Lodos residuales.	23
3.5.2	Suelo Franco Arenoso (Tierra negra).	24
3.5.3	Aserrín.	25
3.5.4	Polvo de Mármol (Fundente).....	25
3.6	Métodos	25
3.6.1	Obtención de Lodos Residuales.	25
3.6.2	Obtención de Tierra Negra	27
3.6.3	Obtención del Polvo de Mármol.....	27
3.6.4	Métodos de fabricación de ladrillos.....	27
3.6.5	Dosificaciones.	29
3.7	Métodos de ensayo.....	34
3.7.1	Granulometría.....	34
3.7.2	Límite líquido	34
3.7.3	Límite plástico	34
3.7.4	Densidad y absorción de agregado fino.....	35
3.7.5	Contenido orgánico.	35
3.7.6	Pérdidas por ignición	35
3.7.7	Resistencia a la compresión de ladrillos.....	35
3.7.8	Absorción de agua de ladrillos	36
3.7.9	Densidad y Porosidad Aparente de ladrillos.....	36
3.8	Análisis estadístico	36
3.8.1	Media	36
3.8.2	Desviación estándar	37
3.8.3	Coefficiente de variación	37
3.8.4	Análisis ANOVA.....	37
3.8.5	Hipótesis.	37
3.8.6	Métodos de análisis, y procesamiento de datos	37
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Procesos adicionales para la utilización de lodos residuales en mampostería.....	38
4.2	Características de la tierra negra	38
4.3	Características del lodo residual	40
4.4	Análisis Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológicamente infeccioso (CRETIB)	40
4.5	Análisis de Difracción de Rayos X.....	42
4.6	Resultados de ensayo de compresión de ladrillos.....	42

4.7	Resultados de ensayo a flexión de ladrillos	47
4.8	Resultados de ensayo de absorción de agua en ladrillos.....	52
4.9	Resultados de ensayo de densidad y porosidad de ladrillos	55
4.10	Análisis de costos de fabricación de ladrillos artesanales.	64
4.11	Comparación entre los resultados de las dosificaciones	66
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	68
5.1	Conclusiones	68
5.2	Recomendaciones	69
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	70
7.	ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dosificación Empírica de Ladrillera Artesanal.	30
Tabla 2 Dosificación Gravimétrica Tradicional.	30
Tabla 3 Dosificación 1: Adición de 5% de Lodo Residual.	30
Tabla 4 Dosificación 2: Adición de 20% de Lodo Residual.	31
Tabla 5 Dosificación 3: Adición de 3% de Polvo de Mármol.	31
Tabla 6 Dosificación 4: Adición de 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.	31
Tabla 7 Dosificación 5: Adición de 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol. ...	32
Tabla 8 Dosificación 6: Adición de 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol. ...	32
Tabla 9 Dosificación 7: Adición de 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol. ...	32
Tabla 10 Dosificación 8: Adición de 12% de Polvo de Mármol.	33
Tabla 11. Dosificación 8: Adición de 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol. ...	33
Tabla 12 Dosificación 10: Adición de 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol. ...	33
Tabla 13 Dosificación 11: Adición de 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.	34
Tabla 14 Resultados de caracterización de la tierra negra.	39
Tabla 15 Resultados de caracterización del lodo residual.	40
Tabla 16 Análisis CRETIB.	41
Tabla 17 Comparación de concentración de contaminantes de PTAR Villa la Unión con Normas Internacionales.	41
Tabla 18 Resultados Análisis de Difracción de Rayos X.	42
Tabla 19 Resultados de resistencia a compresión de ladrillos.	43
Tabla 20 Análisis ANOVA de los resultados de compresión de ladrillos.	46
Tabla 21 Resultados resistencia a flexión de ladrillos.	48
Tabla 22 Resumen de Desviaciones de los resultados de resistencia a flexión en ladrillos.	50
Tabla 23 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia a la flexión.	51
Tabla 24 Resultados de absorción de ladrillos.	52
Tabla 25 Análisis ANOVA de los resultados de absorción.	54
Tabla 26 Resultados de densidad y porosidad de los ladrillos.	56
Tabla 27 Porosidad en ladrillos en función del porcentaje de lodo residual (3%), corte transversal.	58
Tabla 28 Porosidad en ladrillos con 3% de fundente en función del porcentaje de lodo residual, corte longitudinal y transversal.	59
Tabla 29 Porosidad en ladrillos en función del porcentaje de lodo residual (12%), transversal.	61
Tabla 30 Análisis ANOVA de los resultados de densidad.	62
Tabla 31 Análisis ANOVA de los resultados de porosidad aparente.	63
Tabla 32 Resumen de Análisis de Precios Unitarios.	65
Tabla 33 Resumen de resultados.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo de la metodología del proyecto de investigación	22
<i>Figura 2.</i> Diagrama de técnicas de recolección de datos	23
<i>Figura 3.</i> Diagrama de análisis de datos	23
<i>Figura 4.</i> Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Villa la Unión cantón Colta	24
<i>Figura 5.</i> Ubicación del Sector Guayllabamba	24
<i>Figura 6.</i> Filtros Percoladores Biológicos.....	25
<i>Figura 7.</i> Tanques Sedimentadores con Ozonificadores.....	26
<i>Figura 8.</i> Lecho de Secado, deshidratación natural de lodo residual.....	26
<i>Figura 9.</i> Laguna de Oxidación.....	26
<i>Figura 10.</i> Proceso de Obtención de Lodo Residual, secado y tamizado.....	27
<i>Figura 11.</i> Recolección de Polvo de Mármol.	27
<i>Figura 12.</i> Pesaje de materia prima en la elaboración de ladrillos artesanales.....	28
<i>Figura 13.</i> Elaboración de Ladrillos Artesanales con Adición de Lodo Residual.	29
<i>Figura 14.</i> Marcaje, ubicación en el horno y ladrillos artesanales.	29
<i>Figura 15.</i> Movilización, almacenamiento y secado de lodo residual	38
<i>Figura 16.</i> Trituración de Lodo residual en Máquina de los Ángeles.....	38
<i>Figura 17.</i> Comparación visual de muestra de tierra negra con vidrio guía en colorimetría	39
<i>Figura 18.</i> Explosión por cal.....	46
<i>Figura 19.</i> Poros y Grietas internas de ladrillos con adición de lodo residual sin cocer. ...	47
<i>Figura 20.</i> Variación de la resistencia promedio a la compresión de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones.....	47
<i>Figura 21.</i> Variación de la resistencia promedio a la flexión de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones	52
<i>Figura 22.</i> Variación de la absorción de agua promedio de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones.....	55
<i>Figura 23.</i> Variación porosidad de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones.....	64
<i>Figura 24.</i> Comparación de Precios de Elaboración de Ladrillos.....	65

RESUMEN

En esta investigación se evaluó si los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Villa la Unión del cantón Colta son apropiados para ser utilizados como agregado en la elaboración de ladrillos artesanales que cumplan con los estándares de resistencia de la Normativa Ecuatoriana. Con la finalidad de brindar un nuevo uso de los lodos y evitar que sigan siendo acumulados en rellenos sanitarios, se elaboraron muestras de ladrillos con adición de 5 % y 20% de lodo residual en base al peso de la tierra negra. Posteriormente se realizó la adición de polvo de mármol, que sirve como fundente para la fusión de los materiales al momento de la cocción, con este criterio se elaboraron muestras de ladrillos con 5% 10% 15% y 20% de lodo residual con adición de 3% de polvo de mármol. Finalmente se realizaron muestras de 3% 5% y 10% de lodo residual con un incremento en la adición de polvo de mármol a 12%. Los resultados obtenidos revelaron que el uso de los lodos residuales de la PTAR no mejoró la resistencia mecánica de los ladrillos, pero influyó positivamente en el peso final del ladrillo, al obtenerse ladrillos poco densos y ligeros. La dosificación con 5% de adición de lodo residual demostró ser la más eficiente tanto por características mecánicas y precio. Finalmente se establece una línea investigativa para la producción de ladrillos usando lodos residuales previamente incinerados.

Palabras claves: lodo residual, ladrillo artesanal, fundente, resistencia a compresión, absorción, resistencia a flexión.

ABSTRACT

This research evaluated whether the sewage sludge from the Villa la Unión wastewater treatment plant (PTAR) in the Colta canton is suitable to be used as an additive in producing artisanal bricks that meet the standards of strength set by Ecuadorian regulations. To provide a new use for the sludge and prevent its accumulation in landfills, brick samples were made with 5% and 20% sewage sludge based on the weight of the black soil. Subsequently, marble powder was added, which serves as a flux for the fusion of materials during firing. Based on this criterion, brick samples were made with 5%, 10%, 15%, and 20% of sewage sludge, adding 3% of marble powder. Finally, selections were made with 3%, 5%, and 10% of sewage sludge with an increased addition of 12% marble powder. The results revealed that using sewage sludge from the PTAR did not improve the mechanical strength of the bricks, but it did positively influence the final weight of the bricks, as lightweight and less dense bricks were obtained. The dosing with a 5% addition of sewage sludge proved to be the most efficient regarding mechanical characteristics and price. Finally, an investigative line is established to produce bricks using previously incinerated sewage sludge.

Keywords: sewage sludge, artisanal brick, flux, compressive strength, absorption, flexural strength.



Revisado por la docente: Alison Tamara Varela Puente

CI: 0606093904

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Los lodos residuales son un subproducto del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Este desecho es un posible contaminante a nivel mundial y se han buscado numerosas formas de poder reutilizarlo, por ejemplo, para elaborar fertilizante o también implementarlo en la construcción como materia prima para la elaboración de mampuestos, morteros, etc.

El mal uso de los residuos en las plantas de tratamiento es una problemática que provoca inconvenientes dentro de la sociedad. Según Leblanc et al. (2006), a menudo se arrojan los lodos residuales en rellenos sanitarios ya que representa la opción menos costosa en términos monetarios, provocando que, si dichos rellenos sanitarios crecen lo suficiente tendrán efectos ambientales e impactos negativos en la salud pública. Una de las ideas adoptadas por la industria de la construcción como ayuda para reducir esta problemática es su implementación como material alternativo en la fabricación de ladrillos de arcilla, y por supuesto, incorporando lodo residual a la mezcla.

En dos principales ciudades del Ecuador (Quito y Cuenca) ya se han desarrollado investigaciones similares que demuestran resultados positivos para la fabricación de ladrillos, cumpliendo con los requisitos de la norma ecuatoriana como por ejemplo en la investigación de Camargo & Yambay, (2020), se utilizaron lodos residuales de la PTAR Quitumbe para fabricar ladrillos siendo la mejor dosificación la que tenía 5% de lodo residual ya que obtuvo resistencias de 2.82 MPa siendo superior a los ladrillos artesanales sin lodo que obtuvieron una resistencia de 2.29 MPa. También en la investigación de Bermeo & Idrovo (2014), realizada en Cuenca se utilizó lodos residuales para fabricar ladrillos y otros materiales de construcción donde los ladrillos con dosificación de 5% de lodo residual obtuvieron resistencias de 6.3 MPa siendo superiores a las de ladrillos artesanales convencionales fabricados en la zona los cuales tienen resistencias de 4.1 MPa . Por el contrario, en ciudades pequeñas, que cuentan con plantas de tratamiento, generalmente no existe una intención de reutilizar los lodos residuales que producen, por ejemplo, en la PTAR de Colta, Villa la Unión. Actualmente, esta PTAR produce una cantidad de 105 m³ anuales de lodo residual (Cruz, 2019). Este material sedimentable es el producto de la deshidratación natural de las aguas residuales, y es desalojado en un botadero a condiciones abiertas donde factores climáticos, como las aguas lluvias o aguas superficiales generan lixiviados (Cruz, 2019). Estos fluidos contaminados se filtran por las arenas del botadero anteriormente mencionado llevando consigo agentes que generan un impacto ambiental negativo, siendo nocivos para el sector agrícola, ganadero y plantaciones, como también para el posterior tratamiento de agua potable para el consumo humano (Cruz, 2019). Por esta razón, esta investigación se cuestiona si los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Villa la Unión, cantón Colta pueden ser utilizados como agregados en la fabricación de ladrillos artesanales que cumplan con las especificaciones técnicas de las Normas Ecuatorianas vigentes.

1.2 Planteamiento del Problema

La planta de tratamiento de Villa la Unión, cantón Colta genera lodos residuales, los mismos que no se reutilizan en su totalidad, terminando su ciclo en botaderos que con el tiempo se convierten en un contaminante ambiental potencialmente peligroso para las personas debido a su composición.

1.3 Justificación

En cada PTAR se generan lodos residuales y su composición varía en cada una de ellas haciendo que, al experimentar con estos, se produzcan diferentes resultados dependiendo de su origen y así, no se pueda establecer una dosificación de lodo única que funcione en cualquier lugar. Por esto, al analizar los lodos residuales que produce la PTAR de Villa la Unión se elaborará ladrillos con adición de este material y se podrá establecer cuál es el porcentaje ideal que se debe añadir a la mezcla para obtener como resultado ladrillos de buena calidad. Estos ladrillos deberán cumplir con las normas ecuatorianas vigentes para poder ser empleados en la construcción de viviendas, cerramientos, entre otros. De esta manera, al reutilizar los lodos como materia prima se podría generar un campo laboral en una plaza que no ha sido explotada en el sector, ayudando a la economía de los cantones de la provincia de Chimborazo, y a su vez, reduciendo el consumo de tierra negra/arcilla y el impacto ambiental al evitar que los lodos residuales terminen siendo almacenados en un botadero.

1.4 Objetivos

1.4.1 General.

Usar lodos residuales de la planta de tratamiento de Villa la Unión, cantón Colta, como un agregado para la fabricación de ladrillos artesanales, mediante la determinación de una dosificación que permita obtener mampuestos que cumplan estándares de calidad.

1.4.2 Específicos.

- a. Caracterizar física y químicamente los lodos residuales de la planta de tratamiento de Villa la Unión, mediante pruebas de laboratorio para identificar si es necesario realizar procesos adicionales a la hora de utilizarlos en mampostería.
- b. Determinar la dosificación más eficiente para la fabricación de ladrillos artesanales con lodos residuales que cumplan con normativas de calidad vigentes.
- c. Elaborar muestras de ladrillos con diferentes proporciones de lodo residual y también muestras de control para poder establecer su potencial uso en mampostería.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua Residual

El agua residual en sí es agua contaminada o como se conoce cotidianamente agua servida, la contaminación de esta agua puede tener origen industrial, doméstico y a veces natural. El agua se contamina cuando se vierte en ella elementos orgánicos o inorgánicos que en determinadas concentraciones excede la tolerancia para su uso ya sea humano, industrial, agropecuario, recreación o conservación de fauna y flora (Orozco, 2005).

2.2 Planta de tratamiento de agua residual

Las aguas residuales domésticas, comerciales e industriales antes de poder regresar a fuentes primarias de agua como ríos lagos y lagunas se recolectan a través de una extensa red de alcantarillado y es transportado a las plantas de tratamiento de aguas residuales donde se someten a un proceso de tratamiento primario, secundario y, en algunos casos, terciario. Aquí se eliminan ciertos contaminantes incluidos metales, como cobre, plomo, cadmio y cromo, y otros contaminantes como los hidrocarburos clorados (EPA, 1999).

2.3 Lodo Residual

El agua residual contiene elementos orgánicos o inorgánicos que en determinadas concentraciones excede la tolerancia para su uso ya sea humano, industrial, agropecuario, recreación o conservación de fauna y flora (Orozco, 2005). Después de haber sometido a las aguas residuales a un tratamiento, se produce un subproducto semisólido rico en nutrientes llamado lodo residual, el cual a menudo contiene aproximadamente 93% a 99% de agua, sólidos y sustancias disueltas presentes o añadidas durante los procesos de tratamiento de aguas residuales. Cuando se tratan y procesan adecuadamente, los bio-sólidos se pueden reciclar (EPA, 1999).

2.4 Mampuestos

Los mampuestos son los principales materiales para la construcción de grandes imperios, esto se debe a que en las grandes ciudades de la antigüedad en las riberas de los ríos era muy abundante la arcilla, la misma que secaban al sol para fabricar este material (Ruiz & Velandia, 2011). En la actualidad los mampuestos son piezas en forma prismática fabricadas o prefabricadas de distintos materiales (Avala & López, 2022). Algunas de estas piezas son cocidas al rojo vivo. No deben contener eflorescencia de carácter dañino o manchas permanentes en el acabado (Cachago & Caguano, 2016).

2.4.1 Ladrillo

El ladrillo se obtiene de la mezcla de arcilla, aserrín y agua. Esta mezcla se la realiza en una máquina que bate los materiales para juntarlos homogéneamente, una vez la mezcla está hecha es llevada a un lugar abierto en donde se coloca en moldes y se deja secar al sol hasta que ya no tengan agua en su interior este proceso dura de 10 a 15 días. Finalmente son cocidos entre 3 y 5 días en hornos artesanales que funcionan con leña a una temperatura mínima de 800° C.

Según su uso se clasifican en Estructurales, No Estructurales y Fachadas. A su vez, los ladrillos No Estructurales se clasifican en: Ladrillos de Perforación Horizontal (PH), Ladrillos

de Perforación Vertical (PV) y Ladrillos Macizos (M). Estas unidades son utilizadas para muros y paredes divisorias, cortafuegos no estructurales y cualquier mampostería exterior o interior que proteja de la intemperie. La norma NTE INEN 3049-4 establece que la absorción máxima de agua de una unidad es de 20% y en un promedio de cinco unidades de 17%. La norma NTE INEN 3049-3 establece que la resistencia mínima a compresión de una unidad debe ser de 10 MPa y en un promedio de 5 unidades de 14 MPa.

2.4.2 Ladrillo Artesanal.

El ladrillo artesanal es el mampuesto macizo amasado, dosificado, y modelado a mano. Utilizado como un material de construcción muy versátil debido a sus dimensiones y peso, empleado en la fabricación de muros, paredes, tabiques, canales, etc. (Cachago & Caguano, 2016). El ladrillo artesanal del cantón Chambo es una mezcla de suelo franco arenoso (tierra negra), aserrín y agua que se deja secar al aire libre formando una pared en tendedores de grandes dimensiones, que finalmente es cocido en un horno artesanal a muy altas temperaturas.

Por el hecho de ser fabricado manualmente, no poseen las mismas dimensiones y tienen variaciones entre sí.

2.4.3 Materia Prima de ladrillos.

La materia prima para elaborar ladrillos debe ser arcilla o tierra arcillosa, también se puede añadir otros materiales. Debe tener una suficiente plasticidad para que pueda mantener la forma deseada y secarse sin que se creen grietas, deformaciones o nódulos (NTE INEN 293, 2014).

2.4.4 Materiales Reciclados en Mampuestos

La necesidad de implementar mejoras en materiales de construcción y reducir el impacto ambiental, apoyan al rehúso de materias primas en la industria. Específicamente en la elaboración de mampuestos se ha implementado muchos materiales orgánicos (bagazo de caña de azúcar, melaza, etc) e inorgánicos (papel, vidrio, etc) (Ayala, 2022).

Algunos resultados de estos agregados son positivos ya que los mampuestos pueden soportar cargas similares a un costo menor como lo establece Ayala (2022), quien realizó un mampuesto a base de papel periódico reciclado. Existen otros que son negativos como los expuestos por (Arboleda & Cardenas, 2022), quienes hicieron mampuestos con melaza a diferentes dosificaciones y metodologías de fabricación, pero ninguna de las probetas alcanza los estándares requeridos por la normativa ecuatoriana, además incrementan su costo de producción.

2.5 Horno Artesanal

En el cantón Chambo se utilizan hornos elaborados por los mismos ladrilleros que son cúbicos de base rectangular y de tiro ascendente natural, el cual tiene tres bocas inferiores donde se carga la leña el cual es su combustible. En la parte frontal superior existe una compuerta por donde se carga el horno, tienen capacidades de entre 10000, 15000 y 20000 ladrillos dependiendo de la producción del ladrillero. Pueden llegar a temperaturas de 990-1000 °C, pero su principal desventaja es que la mayor temperatura está en la parte baja del

horno, mientras que en la parte superior los ladrillos no terminan de cocerse completamente (González, 2011).

2.6 Clasificación del Suelo.

La definición de suelo tiene muchos puntos de vista. Centrados en la geología, el suelo es el recubrimiento terroso que hay sobre un cuerpo rocoso, desde el punto de vista de un constructor, el suelo es el lugar donde se cimentará una estructura o la capa de tierra que suministra insumos o materias primas para la elaboración de materiales (Jaramillo, 2002).

Se clasifican según el método de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), a través de pruebas de laboratorio establecidas por la norma ecuatoriana de la construcción.

2.7 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg son las pruebas más comunes en todo el mundo que los ingenieros geotécnicos y geólogos realizan al suelo. Estas pruebas son el límite plástico y el límite líquido, se utilizan para caracterizar y clasificar los suelos.

En la ingeniería civil, estas pruebas son fundamentales para establecer parámetros en proyectos de construcción y diseño (O'Kelly, 2016).

2.8 Índice de Plasticidad

La plasticidad es una propiedad evidenciada por una deformación permanente producida por un proporcional esfuerzo causal sobre un sistema inicial (Chamorro et al., 1968). Durante el proceso de deformación, el volumen del material permanece constante. Para los suelos, esta propiedad puede expresarse como la magnitud de las fuerzas de las películas de agua dentro del suelo ya que éstas permiten que el suelo sea moldeado sin romperse hasta un determinado punto. Es el efecto resultante de una presión y una deformación. (Chamorro et al., 1968).

2.9 Estado del Arte

La industria de la construcción tiene un gran potencial para mitigar la contaminación que producen los lodos residuales, ya que se los puede reutilizar en la fabricación de materiales (Wu et al., 2021). Pero a pesar de esta posibilidad actualmente los lodos residuales en la mayoría de los casos se almacenan o se queman. Sin embargo, varios estudios se han enfocado en reutilizar los lodos residuales, probando su efectividad para reemplazar a los materiales tradicionales.

Como ya se mencionó en un principio, el objetivo de esta investigación es poder reutilizar los lodos residuales como un agregado en la elaboración de ladrillos artesanales. Según Ibrahim et al. (2021), los lodos residuales tienen un gran potencial de reemplazar a la arcilla en la fabricación de ladrillos y mejorar su calidad, debido al contenido de materia orgánica y al alto contenido de materia inorgánica. Pero, esto no es del todo cierto, debido a que Wu et al. (2021), evidencia que a medida que se aumenta el contenido de lodos residuales en la mezcla de un ladrillo, su resistencia a compresión disminuye. Determinando que, los lodos residuales solo pueden ser utilizados como aditivos para mejorar las propiedades de los ladrillos.

Ahora bien, los lodos residuales de diferentes PTAR del mundo han sido utilizados para elaborar ladrillos, los mismos que han arrojado diferentes resultados, en algunos casos

positivos y otros negativos. Por ejemplo, en la experimentación de Bubalo et al., (2021), utilizaron cenizas de lodos residuales de diferentes PTAR con porcentajes de 5%, 10% y 20% de adición a la mezcla, obteniendo resistencias que cumplen las normas locales. Destacando que, las probetas con adicción de 5% de lodo en la mezcla arrojaron resistencias a la compresión que superaron a las probetas de control de arcilla común.

Por otro lado, en la investigación de Mohajerani et al. (2019), se utilizó el lodo residual de diferentes PTAR, pero sin incinerar, y se obtuvo una gran variación de resultados. En todos los casos se cumplió con el requerimiento mínimo establecido en la normativa, sin embargo, lo más destacable de este estudio es la simulación de comportamiento de los ladrillos a lo largo de los años, dando como resultado que el ladrillo con un 15% de adición de lodo en la mezcla, es un ladrillo de excelente calidad. Además, se debe mencionar que, aunque en todos los casos, la adicción de lodos no aumentó la resistencia a la compresión, pero sí mejoró su aislamiento térmico.

Sin embargo, los lodos residuales en otros estudios disminuyeron la resistencia a compresión de los ladrillos significativamente. Por ejemplo, en la investigación de Salim et al., (2018), se obtuvo que los lodos afectaron negativamente a los ladrillos, se ensayaron probetas con 1%, 5%, 10%, 20% y 30% de lodo en la mezcla, y a pesar de haber utilizado 1% de lodo, la resistencia a la compresión disminuyó un 22% con respecto a la probeta de control, pese a esto, todas las probetas cumplían con la normativa mínima a excepción de las que tenían un 30% de lodo residual.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación es de tipo experimental y tiene un alcance explicativo debido a que este proyecto está gobernado por la experimentación controlada de los ladrillos con diferentes relaciones de agregados, además se establece como variables independientes a las adiciones porcentuales de los lodos residuales, las mismas que causarán el cambio de las características de cada ladrillo (variables dependientes), es decir; existe una relación entre las variables.

3.2 Esquema Metodológico.

A continuación, en la Figura 1 se presenta el esquema metodológico de cómo se realizó este proyecto de investigación.

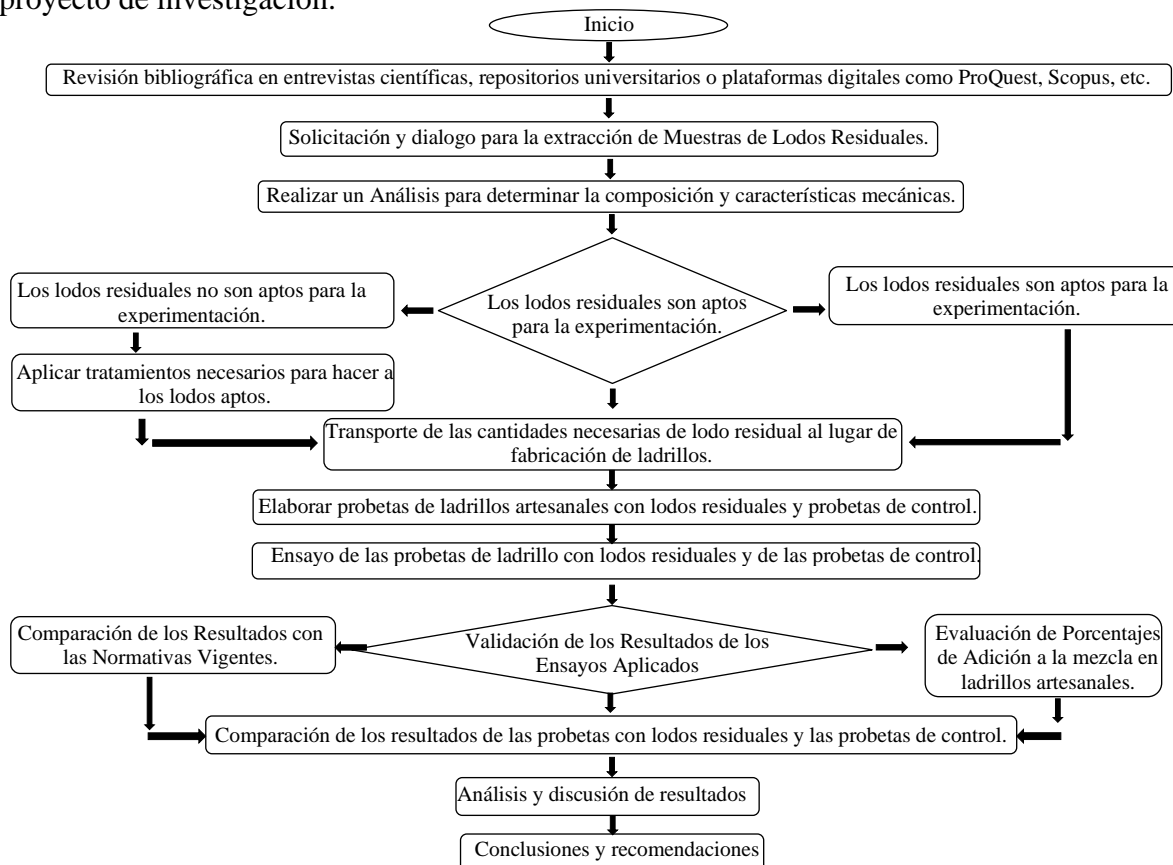


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto de investigación

3.3 Diseño de Investigación.

El presente trabajo investigativo tiene un enfoque cuantitativo, debido a que la investigación se basa en mediciones de propiedades físicas que presentan los ladrillos, además de las relaciones de los agregados con cantidades porcentuales estipuladas en experimentos anteriores para garantizar que el producto cumpla con los resultados esperados. El desarrollo de este proyecto está gobernado por la experimentación controlada de los ladrillos con diferentes

relaciones de agregados, además se establece como variables independientes a las adiciones porcentuales de los lodos residuales, las mismas que causarán el cambio de las características de cada ladrillo (variables dependientes). Estas razones nos conllevan a determinar un alcance Experimental para el presente trabajo investigativo.

3.4 Técnicas de recolección de Datos.

La técnica que se emplea para la recolección de datos es la revisión de registros, el proceso cronológico de la misma es el que se explica en la Figura 2.

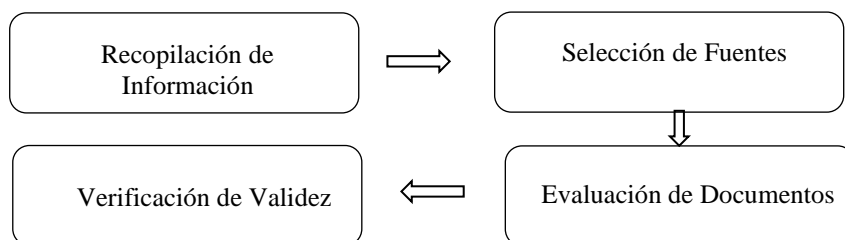


Figura 2. Diagrama de técnicas de recolección de datos

Una vez concluida esta técnica se realiza una observación sistemática, estructurada y regulada de resultados, esto se detalla en la Figura 3.

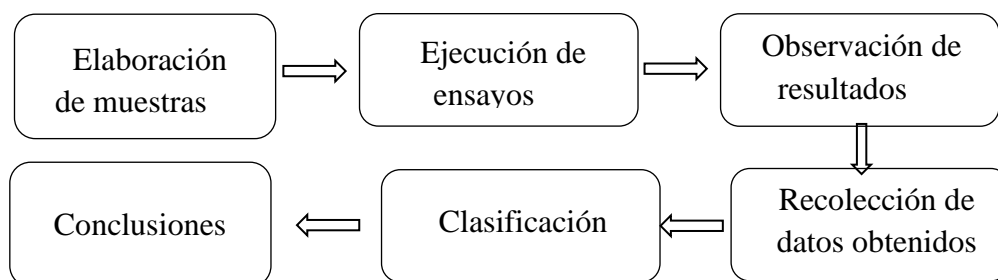


Figura 3. Diagrama de análisis de datos

3.5 Materiales

3.5.1 Lodos residuales.

El lodo residual empleado en este estudio fue obtenido de la planta de tratamiento del cantón Colta, Villa la Unión. Esta planta es de tipo doméstica debido a que recoge las aguas servidas de la ciudad de Cajabamba. En la Figura 4 se observa la localización de la planta de tratamiento, se encuentra a las afueras de la ciudad y deposita el agua en el río Chibunga. El lodo se obtiene de la sedimentación del agua residual después de su paso por tratamientos dentro de la planta.

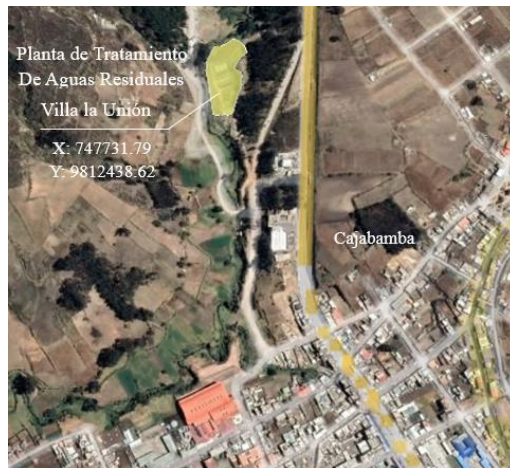


Figura 4. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Villa la Unión cantón Colta

3.5.2 Suelo Franco Arenoso (Tierra negra).

Según el análisis organoléptico realizado para determinar rápidamente la textura de este material, se lo pudo clasificar como un suelo franco arenoso ya que se siente de textura suave, pero al frotarlo en los dedos se puede percibir la presencia de arena. También, al estar húmedo es moldeable y se puede formar una bola que permite ser manipulada sin romperse (Ciancaglini, 2000). Por fines prácticos, a lo largo del presente trabajo a este material se lo llamará con el seudónimo de tierra negra ya que así es conocido localmente.

En la ciudad de Chambo ya no existe materia prima para utilizar en la fabricación de ladrillo artesanal, por esta razón los artesanos optan por obtener tierra negra de sectores aledaños, ya que tiene características semejantes a la que existía en la ciudad. En la Figura 5 se observa el sector y coordenadas de Guayllabamba, lugar de donde proviene la tierra negra utilizada. Esta tierra se caracteriza por su resistencia a deformaciones sin necesidad de variación volumétrica apreciable.

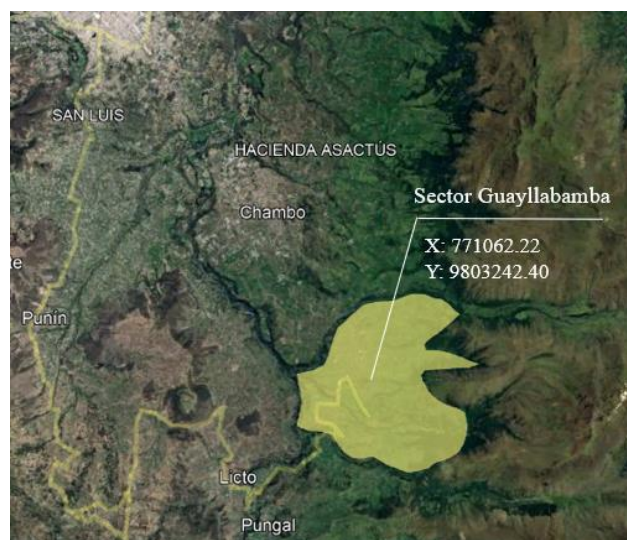


Figura 5. Ubicación del Sector Guayllabamba

3.5.3 Aserrín.

De la misma manera, el aserrín es uno de los compuestos principales en la elaboración de ladrillos artesanales en el cantón Chambo. El aserrín es un residuo en forma de partículas sueltas, que provienen del aserrado de madera, produciendo también polvo de madera el cual tiene una granulometría inferior a la del aserrín (NTE INEN 1156, 2013). Según los ladrilleros de Chambo el objetivo del uso de aserrín es para ayudar a que el ladrillo se pueda cocer con mayor facilidad internamente ya que si este no se coloca, el núcleo del ladrillo no queda bien cocido.

3.5.4 Polvo de Mármol (Fundente).

El fundente es un componente con un bajo punto de fusión que produce cambios en las propiedades mineralógicas de los materiales de reacción, produciendo colateralmente la reducción de temperatura y el tiempo de cocción (Granatta, 2010). Posee una composición gárica de baja plasticidad y sin tendencia a la expansión que ayuda a la fusión de materiales debido a su alta cantidad de carbonato de calcio. Sirve como aglutinante duradero de alta calidad de materiales durante su mezcla (Granatta, 2010).

3.6 Métodos

3.6.1 Obtención de Lodos Residuales.

Las aguas residuales captadas por la red de alcantarillado de la ciudad de Cajabamba llegan a la PTAR Villa la Unión del cantón Colta, ubicada en las coordenadas Este:747731.79; y Norte: 9812438.62. El proceso que realiza la planta inicia en los canales Parshall, ahí se mide el caudal de aguas residuales que ingresan, además se colocan los primeros filtros para eliminar materiales inorgánicos considerablemente grandes no deseables.

Posteriormente, el agua residual ingresa en un tanque distribuidor encargado de dirigirla hasta los filtros percoladores biológicos. En la Figura 6, se observan las estructuras que forman los filtros plásticos, en su interior los filtros están compuestos por capas de materiales filtrantes como arena y grava. El agua residual filtrada entra en contacto con bacterias que degradan su contaminación a través de procesos aeróbicos.



Figura 6. Filtros Percoladores Biológicos

Luego de eliminar bacterias y ser filtrada, el agua residual ingresa a los tanques de sedimentación con ozonificadores. Se colocan productos químicos para coagular compuestos orgánicos e inorgánicos del agua residual (Ver Figura 7). Luego de este proceso, los trabajadores de la planta colocan cloro por goteo manualmente.



Figura 7. Tanques Sedimentadores con Ozonificadores

Todo el sedimento es transportado por un sistema de tuberías con válvulas a los filtros de ladrillo o lechos de secado en donde se almacena el lodo residual (Ver Figura 8) con el objetivo de filtrar la mayor cantidad de agua posible, este tratamiento es conocido como deshidratación natural.



Figura 8. Lecho de Secado, deshidratación natural de lodo residual

Finalmente, en la Figura 9, se observa el último proceso de la planta de tratamiento, el agua residual es enviada a la laguna de oxidación para ser almacenada por un tiempo y después se desecha al río Chibunga.



Figura 9. Laguna de Oxidación

Para obtener el lodo residual necesario para caracterizarlo y fabricar ladrillos, se lo retiró de los lechos de secado con palas y sacos con fundas de basura en su interior. Se trasladó a un lugar al aire libre en donde se terminó de secar. Una vez seco se trituró y tamizó para ser utilizado como agregado en la elaboración de ladrillos artesanales y para los diferentes ensayos de caracterización química y física. A continuación, en la Figura 10 se puede observar el proceso antes mencionado.



Figura 10. Proceso de Obtención de Lodo Residual, secado y tamizado.

3.6.2 Obtención de Tierra Negra

La tierra negra utilizada fue la misma que ya se encontraba acumulada en la ladrillera debido a que era la que se iba a utilizar para fabricar los ladrillos. para realizar los ladrillos y como ya se mencionó anteriormente, esta proviene del sector de Guayllabamba. Se usaron palas y costales para poder recolectar la tierra negra y ser transportada a los laboratorios donde se realizaron los respectivos análisis.

3.6.3 Obtención del Polvo de Mármol

Para la elaboración de las dosificaciones también se utilizó un fundente natural en forma de polvo. Este material se recolectó de los montículos que se forman en las marmolerías de la ciudad durante el proceso de fabricación de placas de mármol (Ver Figura 11), y para poder utilizarlo, fue necesario realizar un proceso de tamizado en cernideras o zarandas para separar los terrones que dificultaban su homogenización con la mezcla utilizada para elaborar los ladrillos.



Figura 11. Recolección de Polvo de Mármol.

3.6.4 Métodos de fabricación de ladrillos

Al realizar las investigaciones pertinentes de artículos de divulgación científica y proyectos de titulación, se encontró que en la mayoría de los casos se reemplazaba 5%, 10%, 15% o 20% de la arcilla de la mezcla por los lodos residuales (Salim et al., 2018). En este caso, será reemplazada la tierra negra debido a que es el material que se utiliza en el cantón Chambo para elaborar ladrillos artesanales. Con este material se elaboraron muestras de ladrillos, reemplazando la tierra negra por lodo residual en los porcentajes antes mencionados con una dosificación gravimétrica.

Los ladrillos fueron elaborados con ayuda de artesanos en fábricas de Chambo. Se determinó la dosificación aproximada de un ladrillo tradicional en base a la experiencia del artesano y en base a la cantidad de material necesaria para llenar un molde que contiene 18 ladrillos. Como se observa en la Figura 12 las cantidades de los materiales proporcionados se colocaron sobre bolsas plásticas para realizar el pesaje y obtener la dosificación tradicional.



Figura 12. Pesaje de materia prima en la elaboración de ladrillos artesanales.

Con la dosificación ya establecida, se reemplazaron las cantidades de tierra negra, en los porcentajes establecidos en este estudio, para añadir, en su lugar, el lodo residual. Todos los materiales fueron colocados sobre una superficie limpia para ser homogenizados con pala y azadón. Una vez se obtuvieron las mezclas, se trasladó el material, con una carretilla, al tendal, que es el lugar en donde se moldearon los ladrillos y se secaron. Se colocó una capa de aserrín en el lugar donde descansa el molde para evitar que la mezcla se adhiriera al piso. Para elaborar el ladrillo, la mezcla se deposita directamente de la carretilla al molde y con las manos se ubicó la mezcla en cada espacio individual del molde. Una vez fueron llenados todos los espacios, con una madera en forma de codal se enrasó el molde para que la cara superior de los ladrillos no tenga imperfecciones. Se retiró el molde y se dejó secar los ladrillos en el tendal hasta que fueron manipulables, este proceso tuvo una duración de 7 a 10 días y dependió mucho del clima y de la temporada. Todo este proceso se evidencia en la Figura 13.



Figura 13. Elaboración de Ladrillos Artesanales con Adición de Lodo Residual.

Pasado el tiempo en el cual se pueden manipular los ladrillos, se procedió a apilarlos para que se puedan secar completamente dentro de 15 a 25 días dependiendo del clima. Una vez secos se marcaron con señales en sus caras con la ayuda de un objeto afilado.

Se trasladaron los ladrillos a un horno artesanal para ser cocidos durante un tiempo estimado de 2 a 3 días, el tiempo puede depender de la eficiencia de cada horno. Finalmente se dejaron enfriar dentro del mismo horno durante 5 días. Todo este proceso desde hacer la mezcla hasta obtener los ladrillos cocidos duró aproximadamente 45 días. Este proceso se evidencia en la Figura 14.



Figura 14. Marcaje, ubicación en el horno y ladrillos artesanales.

3.6.5 Dosificaciones.

La dosificación para la elaboración de ladrillos artesanales se realizó a través del método gravimétrico (dosificación al peso). El peso de las materias primas se determinó con una balanza en la ladrillera, en base a la dosificación usada por la ladrillera.

Se dosificó una cantidad de material necesaria para elaborar 18 unidades, porque es el número de ladrillos que salen de un molde. A continuación, en la Tabla 1 se muestran las cantidades de materiales usadas por la fábrica.

Tabla 1 Dosificación Empírica de Ladrillera Artesanal.

Material	Cantidad
Tierra Negra	1 carretilla
Aserrín	3 paladas
Colorada	2/3 palada
Agua	11 litros

A partir de la dosificación presentada en la Tabla 1, y de acuerdo con el método gravimétrico, se procedió a la inclusión del lodo residual en diferentes porcentajes. Para describir las dosificaciones utilizadas, se debe tomar en cuenta que la incorporación de los lodos residuales se realizó únicamente en base al peso de la tierra negra, más no del peso general. Además, se recalca que en todas las dosificaciones no solo se incrementó lodo residual, sino también se extrajo la misma cantidad de tierra negra.

3.6.5.1 Dosificación Gravimétrica Tradicional.

Tomando en cuenta la dosificación empírica de la ladrillera, se utilizan cuatro materias primas. Al pesar las materias primas se obtuvo la dosificación gravimétrica para 18 unidades, en la Tabla 2 se muestra dicha dosificación, también se incorporó la dosificación unitaria de la dosificación tradicional.

Tabla 2 Dosificación Gravimétrica Tradicional.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	72.00	4.00
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11	0.61

3.6.5.2 Dosificación 1: Adición de 5% de Lodo Residual.

Con base en la dosificación tradicional que se presenta en la Tabla 2, se procedió a añadir lodo residual en porcentaje de 5% con respecto al peso de la tierra negra. Los pesos de esta dosificación, tanto para 18 unidades como para una unidad, se describen a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3 Dosificación 1: Adición de 5% de Lodo Residual.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	68.40	3.80
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Lodo Residual (kg)	3.60	0.20

3.6.5.3 Dosificación 2: Adición de 20% de Lodo Residual.

En esta dosificación se incluyó el 20% de lodo residual con respecto a la tierra negra. Como el lodo residual es un material muy absorbente, se aumentó la cantidad de agua con respecto a la dosificación tradicional lo que se detalla a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4 Dosificación 2: Adición de 20% de Lodo Residual.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	57.60	3.20
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	23.00	1.28
Lodo Residual (kg)	14.40	0.80

3.6.5.4 Dosificación 3: Adición de 3% de Polvo de Mármol.

Para esta dosificación se realizó la incorporación de polvo de mármol. Este material se añadió en base al peso de la tierra negra. Para la dosificación se incorporó 3% de polvo de mármol manteniendo la dosificación tradicional. Los pesos se describen a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5 Dosificación 3: Adición de 3% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	72.00	4.00
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Polvo de Mármol (kg)	2.16	0.12

3.6.5.5 Dosificación 4: Adición de 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

En base a la dosificación de la Tabla 5, se colocó ahora lodo residual en un porcentaje de 5% lo cual se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6 Dosificación 4: Adición de 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	68.40	3.80
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Polvo de Mármol (kg)	2.16	0.12
Lodo Residual (kg)	3.60	0.20

3.6.5.6 Dosificación 5: Adición de 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

En esta dosificación se mantuvo el porcentaje de polvo de mármol. Se cambió el porcentaje de lodo residual a 10%. Debido a las propiedades del lodo se aumentó nuevamente la cantidad de agua como se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7 Dosificación 5: Adición de 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	61.20	3.60
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	15.00	0.83
Polvo de Mármol (kg)	2.16	0.12
Lodo Residual (kg)	7.20	0.40

3.6.5.7 Dosificación 6: Adición de 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

El lodo residual de esta dosificación se aumentó a un 15% del peso de la tierra negra, se mantuvo el porcentaje de polvo de piedra y se aumentó la cantidad de agua como se detalla a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8 Dosificación 6: Adición de 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	61.20	3.40
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	19.00	1.06
Polvo de Mármol (kg)	2.16	0.12
Lodo Residual (kg)	10.80	0.60

3.6.5.8 Dosificación 7: Adición de 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

Se mantuvo el porcentaje de polvo de piedra, pero se aumentó el porcentaje de lodo residual a 20% con respecto al peso de la tierra negra. Se aumentó la cantidad de agua en la mezcla, en la Tabla 9 se muestra la dosificación.

Tabla 9 Dosificación 7: Adición de 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	57.60	3.20
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	20.00	1.28
Polvo de Mármol (kg)	2.16	0.12
Lodo Residual (kg)	14.40	0.80

3.6.5.9 Dosificación 8: Adición de 12% de Polvo de Mármol.

Para esta dosificación se aumentó el porcentaje de polvo de mármol a 12% con respecto al peso de la tierra negra (Ver Tabla 10).

Tabla 10 Dosificación 8: Adición de 12% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	72.00	4.00
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Polvo de Mármol (kg)	8.64	0.48

3.6.5.10 Dosificación 9: Adición de 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

Para esta dosificación se aumentó el porcentaje de polvo de mármol a 12% con respecto al peso de la tierra negra, se añade 3% de lodo residual como se muestra a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Dosificación 8: Adición de 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	69.84	3.88
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Polvo de Mármol (kg)	8.64	0.48
Lodo Residual (kg)	2.16	0.12

3.6.5.11 Dosificación 10: Adición de 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

En esta dosificación se mantuvo el porcentaje de polvo de piedra 12%, se aumentó el porcentaje de lodo residual a 5%. Teniendo una dosificación con los siguientes pesos como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12 Dosificación 10: Adición de 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	68.40	3.80
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	11.00	0.61
Polvo de Mármol (kg)	8.64	0.48
Lodo Residual (kg)	3.60	0.20

3.6.5.12 Dosificación 11: Adición de 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

Se realizó esta dosificación con el mismo porcentaje de polvo de piedra 12%, 10% de lodo residual y un aumento en la cantidad de agua. Se obtuvo los siguientes pesos detallados en la Tabla 13.

Tabla 13 Dosificación 11: Adición de 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol.

Materiales	Cantidad para 18 Unidades	Cantidad Unitaria
Tierra Negra (kg)	64.80	3.60
Aserrín (kg)	0.96	0.05
Polvo de Ladrillo (kg)	0.16	0.01
Agua (L)	15.00	0.83
Polvo de Mármol (kg)	8.64	0.48
Lodo Residual (kg)	7.20	0.40

3.7 Métodos de ensayo

3.7.1 Granulometría

Este ensayo se utiliza para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas de árido con los requisitos de las especificaciones aplicables. Primero se debe realizar un muestreo del árido para después secarlo hasta tener masa constante, luego se selecciona los tamices necesarios dependiendo del tipo de material y la cantidad. Se ubican los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura y se coloca la muestra en la parte superior. Ahora se procede a agitar los tamices durante un periodo suficiente para que todas las partículas de diferente tamaño se hayan quedado retenidas en cada uno de los tamices (ASTM C136, 2006).

3.7.2 Límite líquido

El ensayo para determinar el Límite líquido se realiza con el árido que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40) y consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite de comportamiento líquido y plástico. Primero se toma una muestra de alrededor de 250 g y se le añade agua hasta obtener una pasta homogénea después se coloca una porción en el equipo Copa de Casagrande extendiéndola con la espátula para luego con el acanalador realizar un canal en el centro de la muestra. Ahora se debe girar el manubrio del equipo a una velocidad de dos revoluciones por segundo y contar los golpes necesarios para que las dos mitades de la muestra se unan en el fondo alrededor de 10 mm. Realizar este procedimiento al menos cuatro veces con la misma muestra con nuevos incrementos de agua, de tal manera que dos ensayos estén bajo los 25 golpes y dos sobre los 25 golpes (ASTM d4318-17e1, 2018).

3.7.3 Límite plástico

El límite plástico de un suelo es el límite entre su comportamiento plástico y sólido para el cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar agua gradualmente y encontrarlo. Se toma aproximadamente 10 g de muestra y se la moldea entre los dedos en una bola para luego rodarla sobre una placa de vidrio para formar un rollo de 3 mm de diámetro y se manifieste un

desmenuzamiento o fisuras en el rollo. Ahora se recogen las porciones desmenuzadas de los rollos para determinar el contenido de agua siguiendo la norma INEN 690 se deberá realizar este procedimiento tres veces para obtener tres (ASTM d4318-17e1, 2018).

3.7.4 Densidad y absorción de agregado fino

Se sumerge en agua por 24 horas \pm 4 horas, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se coloca la muestra en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico; finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa y la absorción (ASTM C128, 2023).

3.7.5 Contenido orgánico.

Para realizar este ensayo primeramente se debe obtener la muestra representativa del agregado para luego reducirlas a tamaño de ensayo mediante cuarteo. Una vez hecho esto se vierte la muestra del árido en un frasco de vidrio hasta el nivel de 130 cm³. Luego se disuelve tres partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua para luego añadir esta solución en el frasco que se encuentra el árido hasta el nivel de 200 cm³. Tapar el frasco, agitar vigorosamente y dejar reposar 24 horas. Finalmente se utiliza 5 vidrios de color normalizado en escala de colores Gardner para comparar con el color obtenido del líquido en el frasco (ASTM C40, 2011).

3.7.6 Pérdidas por ignición

Para realizar este ensayo se pesa primeramente una muestra de 5g y se la coloca en un crisol se debe tener un total de tres muestras. Se registra el peso de cada crisol vacío y luego con la muestra, luego se los coloca la mufla (horno de altas temperaturas) y se los deja ahí por 4h a una temperatura de 550 grados Celsius. Luego se vuelve a pesar las muestras y se registra los pesos para poder hacer una diferencia con los anteriores pesos antes de entrar a la mufla, con esta diferencia se determina el porcentaje de carbono que se perdió por ignición en la muestra (ASTM D7348, 2021).

3.7.7 Resistencia a la compresión de ladrillos.

Los ladrillos deben estar secos, para luego someterlos a carga en la misma posición que ocuparían en su aplicación y se utilizan mínimo cinco ladrillos para la prueba los cuales, si son ladrillos macizos, en promedio deben superar los 14 MPa y por unidad los 10 MPa (NTE INEN 3049-1, 2018). Si los ladrillos presentan demasiadas irregularidades se deben refrentar ya sea con relleno de azufre, con yeso o a su vez utilizar tablas tríples. La máquina de ensayos debe tener una precisión de \pm 1,0% sobre el rango provisto de carga. Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada y luego que aplique la carga a una velocidad uniforme en no menos de 60s ni más de 120s. Finalmente se recolectan los datos obtenidos de cada espécimen y se calcula la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima sobre el área bruta de la superficie del ladrillo (NTE INEN 3049-5, 2019). En la norma

NTE INEN 294 (1978), se realiza el mismo procedimiento antes mencionado para obtener la resistencia a la compresión de los ladrillos, con la diferencia, en que la resistencia mínima para resultados individuales de ladrillos macizos tipo C (ladrillo fabricado a mano con imperfecciones) es de 6 MPa y en promedio debe ser mínimo de 8 MPa. Por otro lado, la NEC-SE-VIVIENDA (2015), define al ladrillo artesanal como un elemento de mampostería que a pesar de no cumplir con la norma NTE INEN 294 (1978), se utiliza por lo general en edificaciones de interés social y de bajo costo, cuya resistencia bruta no debe ser menor que 2 MPa.

3.7.8 Absorción de agua de ladrillos

Los especímenes para el ensayo deben estar compuestos de cinco unidades, si se usan fragmentos el peso no debe ser menor a 250 g tomando dos de las paredes y una del núcleo. Se secan en horno y luego se enfrían con un ventilador por 4 horas y se pesan, luego habrá que sumergirlos en agua limpia entre 15.6 °C y 30 °C durante 24 horas. Finalmente se retira el espécimen del agua, se seca superficialmente con un paño y se pesa antes de que pasen 300 s. Una vez con el registro de pesos de los especímenes se realiza una diferencia entre el peso saturado y el peso seco, luego se divide el resultado para el peso seco y por último se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de absorción de cada ladrillo (NTE INEN 3049-5, 2019). En la norma NTE INEN 297 (1977), para un ladrillo macizo tipo C (ladrillo fabricado a mano con imperfecciones) la absorción máxima promedio para ladrillos es de 25%.

3.7.9 Densidad y Porosidad Aparente de ladrillos.

Las muestras deben secarse en la estufa entre 105°C y 115°C hasta obtener una masa constante. Se sumergen las muestras completamente en un recipiente con agua potable y se debe hervir durante 2 horas. Después de enfriarlas a temperatura ambiente, se determina la masa suspendida en agua con ayuda de la balanza que previamente debe estar equilibrada a la misma profundidad que cuando se coloca la muestra. Se debe eliminar el exceso de agua de la superficie de la muestra con cuidado para no retirar el agua contenida en los poros del material. Registrar la masa con una precisión de 0.1g. Finalmente si se constata que en el proceso de tratamiento de las muestras se han desprendido partículas o pequeños trozos, las muestras se deben secar en la estufa, hasta obtener masa constante y nuevamente se registra su masa con una precisión de 0.1g (ASTM C20-00, 2022).

3.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico será una de las herramientas que se utilizará para analizar los resultados de los ensayos y determinar cuál es el promedio de cada uno, las desviaciones que existen de la media o su dispersión además de determinar si existen similitudes en las medias de las distintas variables a analizar (Spiegel & Stephens, 2009).

3.8.1 Media

La media es un valor representativo de un conjunto de datos y pueden definirse varios tipos como la media aritmética, la mediana, la moda, la media geométrica y la media armónica. En

esta investigación se utilizará la media aritmética que está definida como la división de la suma de un conjunto de números entre la cantidad de los mismos (Spiegel & Stephens, 2009).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N x}{N} = \frac{\sum x}{N}$$

3.8.2 Desviación estándar

El grado de dispersión de datos con respecto a la media se la conoce como dispersión o variación. Se pueden calcular varias medidas de dispersión como el rango, la desviación media y la desviación estándar. Esta última será el método que se utilizará en esta investigación para determinar la dispersión de los datos obtenidos con respecto a la media de los ensayos realizados (Spiegel & Stephens, 2009).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}}$$

3.8.3 Coeficiente de variación

Si la dispersión absoluta es la desviación estándar s y el promedio es la media \bar{X} , entonces a la dispersión relativa se le llama coeficiente de variación o de dispersión. Una variación o una dispersión de 10 pulgadas en una distancia de 1000 pies tiene un significado muy diferente a la misma variación de 10 pulgadas en una distancia de 20 pies, este efecto se puede medir mediante la dispersión relativa (Spiegel & Stephens, 2009).

$$\text{Coeficiente de variación (V)} = \frac{s}{\bar{X}}$$

3.8.4 Análisis ANOVA

El análisis ANOVA es un análisis de varianza el cual ayuda a crear una tabla que contiene los elementos que analizan la variación de datos y sirve para poder comparar si dos o más grupos son estadísticamente distintos o no, esta tabla se puede realizar con la ayuda del software Excel (Lira, 2021).

3.8.5 Hipótesis.

La hipótesis que se plantea para el desarrollo de este trabajo investigativo es que los lodos residuales de la planta de tratamiento Villa la Unión del cantón Colta en su estado actual de estabilización, son capaces de servir como agregado para la fabricación de ladrillos artesanales que cumplan con los estándares de resistencia que dicta la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente. Posiblemente mejorando sus propiedades de absorción y características mecánicas en relación con los ladrillos convencionales que actualmente existen en la industria de la construcción de la zona.

3.8.6 Métodos de análisis, y procesamiento de datos.

En esta investigación se realizó un análisis con enfoque cuantitativo, por el motivo de ser una investigación experimental donde se elaboraron ensayos que miden las propiedades físicas que presentan los ladrillos. Los resultados numéricos se procesaron en herramientas informáticas, con el fin de analizar los valores de manera precisa y descifrable.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Procesos adicionales para la utilización de lodos residuales en mampostería.

Camargo & Yambay (2020), revelaron que se obtienen mejores resultados con el uso de lodo residual seco, por esta razón, una vez se obtuvo el lodo de la PTAR, el primer proceso realizado fue trasladarlo a un lugar al aire libre en una casona con cubierta para evitar que la lluvia moje a los lodos (Ver Figura 15). Se extendió sobre una superficie plana con plástico en donde se secó a temperatura ambiente durante 30 días.



Figura 15. Movilización, almacenamiento y secado de lodo residual

Durante este tiempo, el lodo residual fue aplastado y desmenuzado con una pala para obtener un material suelto. Para una mezcla homogénea se necesitó triturar el lodo residual. Como se observa en la Figura 16, el proceso por el que se optó fue ingresar el lodo seco en la máquina de los ángeles, en este proceso se colocó el lodo residual y 12 esferas de acero dentro de la máquina, a una velocidad de 1000 revoluciones y durante 30 minutos se realizó la tritución. Se obtuvo un material suelto, listo para ser utilizado en la fabricación de lodo residual.

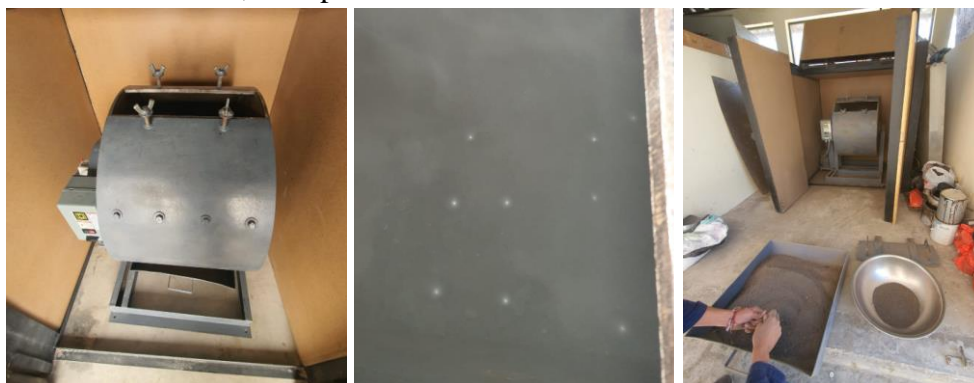


Figura 16. Trituración de Lodo residual en Máquina de los Ángeles

Si bien el estudio de Bubalo et al. (2021), demostró que la resistencia de los ladrillos con adicción de 5% y 10% de lodo residual incinerado fue superior a los ladrillos de control, en el presente estudio no se decidió incinerar los lodos, debido a que esta acción tendría un impacto negativo en el ambiente. Sin embargo, esta decisión tuvo un impacto negativo en las características mecánicas del ladrillo, como se discutirá más adelante.

4.2 Características de la tierra negra

Las muestras de tierra negra fueron sometidas a distintos ensayos de caracterización como fueron: granulometría, límite plástico, límite líquido, densidad, absorción y colorimetría. A

continuación, se muestra en la Tabla 14 los resultados obtenidos de las características físicas de la tierra negra.

Tabla 14 Resultados de caracterización de la tierra negra

Tipo de agregado	Tipo de material	Procedencia del material
Agregado fino	TIERRA NEGRA	Guayllabamba
GRANULOMETRÍA		
% pasa tamiz No. 4		99.80%
% pasa tamiz No. 200		7.98%
Coeficiente de uniformidad (Cu)		9.488
Coeficiente de curvatura (Cc)		0.816
LÍMITES DE ATTERBERG		
Límite Líquido		32%
Límite Plástico		27%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		5%
DENSIDAD		
δ_{sh}	δ_{sss}	δ_a
Densidad SH [kg/m ³]	Densidad SSS [kg/m ³]	Densidad aparente A [kg/m ³]
1767.237	2009.723	2334.797
ABSORCIÓN		
14%		
CONTENIDO ORGÁNICO		
Número del comparador		5
Escala de Gardner		16

Nota: En esta tabla, δ_{sh} es la Densidad Relativa Seca al Horno, δ_{sss} es Densidad Relativa Saturada Superficialmente Seca y δ_a Densidad Aparente.

Según la clasificación SUCS, la muestra de tierra negra analizada se clasificó como una arena mal graduada con limos (SP-SM). Más del 50% de la tierra negra superó el tamiz No 4 y entre el 5% y 12% pasó el tamiz No 200, también presentó un $C_u > 6$ y $C_c < 1$. En el Anexo 1 se muestra la gráfica de la curva granulométrica de la tierra negra. La tierra negra tuvo un 0.2% de grava, 91.82% de arena y 7.98% de finos, siendo estos últimos clasificados como un limo de baja plasticidad (ML). La absorción de la muestra fue de un 14% y se observaron cantidades excesivamente altas de impurezas orgánicas, según el resultado visual en el vidrio comparador del ensayo de colorimetría. (Ver Tabla 14 y Figura 17).

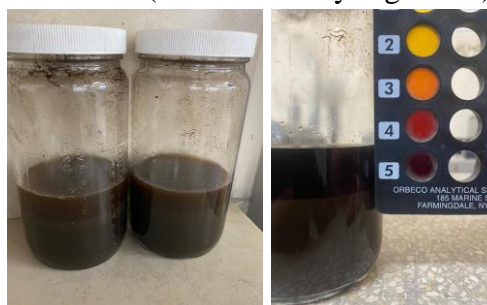


Figura 17. Comparación visual de muestra de tierra negra con vidrio guía en colorimetría

4.3 Características del lodo residual

Las muestras de lodo residual fueron sometidas a distintos ensayos de caracterización: granulometría, límite plástico, límite líquido, densidad, absorción y pérdidas por ignición; los resultados se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15 Resultados de caracterización del lodo residual

Tipo de agregado	Tipo de material	Procedencia del material
Agregado fino	LODO RESIDUAL	Planta de tratamiento de aguas residuales Villa la Unión, cantón Colta
GRANULOMETRÍA		
% pasa tamiz No. 4		99.86%
% pasa tamiz No. 200		9.67%
Coeficiente de uniformidad (Cu)		14.71813692
Coeficiente de curvatura (Cc)		1.265594757
LÍMITES DE ATTERBERG		
Límite Líquido		135%
Límite Plástico		112%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		23%
DENSIDAD		
δ_{sh}	δ_{sss}	δ_a
Densidad SH [kg/m ³]	Densidad SSS [kg/m ³]	Densidad aparente A [kg/m ³]
1204.235044	1382.467367	1466.209997
ABSORCIÓN		
30%		
PÉRDIDAS POR IGNICIÓN		
Porcentaje de Materia orgánica (%MO)		45.53%

Nota: En esta tabla, δ_{sh} es la Densidad Relativa Seca al Horno, δ_{sss} es Densidad Relativa Saturada Superficialmente Seca y δ_a Densidad Aparente.

En base a la clasificación SUCS, la muestra de lodo residual analizada se clasificó como una arena bien graduada con limo (SW-SM), superó más del 50% de material el tamiz No 4 y pasó entre el 5% y 12% de lodo el tamiz No 200. Tuvo un $Cu > 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$. En el **Anexo 2** se muestra la gráfica de la curva granulométrica del lodo residual. La muestra presentó un 0.14% de grava, 90.19% de arena y 9.67% de finos, estos últimos se clasificaron como limo de alta plasticidad (MH). La absorción de la muestra fue de 30% y se evidenció un 45.53% de materia orgánica según el resultado del ensayo por pérdidas de ignición.

4.4 Análisis Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológicamente infeccioso (CRETIB)

A continuación, en la Tabla 16, se muestran los resultados del análisis CRETIB realizado por el Ilustre Municipio Descentralizado del cantón Colta, el cual se proporcionó con consentimiento de los administrativos encargados de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 16 Análisis CRETIB

PH (U pH)	8.31	mayor o igual a 6 y menor o igual a 8	NO CUMPLE
ARSÉNICO (mg/kg)	0.0000	menor o igual a 12	CUMPLE
BARIO (mg/kg)	12.5536	menor o igual a 200	CUMPLE
CADMIO (mg/kg)	5.2516	menor o igual a 0.5	NO CUMPLE
MERCURIO (mg/kg)	0.0020	menor o igual a 0.1	CUMPLE
PLOMO (mg/kg)	2.1538	menor o igual a 19	CUMPLE
SELENIO (mg/kg)	0.0000	menor o igual a 1	CUMPLE
NÍQUEL (mg/kg)	21.0963	menor o igual a 19	NO CUMPLE
CROMO HEXAVALENTE (mg/kg)	1.3120	menor o igual a 0.4	NO CUMPLE
PLATA (mg/kg)	0.0000		
COLIFORMES FECALES (NMP/g)	1.50 E+04		
HUEVOS DE PARÁSITOS (H/g)	0		
SALMONELA (UFC/g)	0		

Nota: NMP es Numero más probable. UFC es Unidades Formadores de Colonias.

Fuente: (Ilustre Municipio Descentralizado del cantón Colta, 2022)

Como se observa en la Tabla 16, los lodos residuales provenientes de PTAR Villa la Unión del cantón Colta poseen un 3.875% de PH más alto de lo recomendado, con este valor de PH los lodos residuales están acercándose a empezar a ser alcalinos. Por el lado de los metales pesados, se observó que se tiene una alta concentración de Cadmio y Cromo Hexavalente con respecto a lo recomendado. Como menciona Gualoto (2016), el Ecuador no cuenta con una normativa que controle los valores máximos permisibles de contaminantes para los lodos residuales, sin embargo, se puede adoptar normativas internacionales. Por esta razón se optó por revisar lo establecido en la CFR 40 PARTE 503 “Normas para el Uso o Eliminación de Lodos Residuales” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 1994) y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2022 (SEMARNAT, 2003) ; las mismas que están siendo aplicadas en el país (Ver Anexo 4 y 5). A continuación, en la Tabla 17, se comparó los resultados de los metales del CRETIB realizado a los lodos residuales de la PTAR Villa la Unión con los límites máximos permisibles para metales establecidos en las normas antes mencionadas.

Tabla 17 Comparación de concentración de contaminantes de PTAR Villa la Unión con Normas Internacionales

Contaminante	Concentración de contaminantes en PTAR Villa la Unión. para la aplicación (mg/kg).	Concentración de contaminantes para la aplicación Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2022 (mg/kg) en base seca.	Concentración de contaminantes para la aplicación Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) (mg/kg) en base seca.
Arsénico	0.0000	41.00	75.00
Cadmio	5.2516	39.00	39.00
Mercurio	0.0020	17.00	17.00
Plomo	2.1538	300.00	1500.00
Níquel	21.0963	420.00	420.00
Cromo Hexavalente	1.3120	1200.00	-

Con lo expuesto en la Tabla 17, el lodo residual de esta investigación pudo ser aprovechado y utilizado de manera segura, ya que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

4.5 Análisis de Difracción de Rayos X

En la Tabla 18, se muestran los resultados del ensayo de análisis de difracción de rayos X, el cual fue realizado en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional. Los compuestos con cristalización definida, presentes en la muestra se determinaron empleando un Difractómetro D8 ADVANCE y el software Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación.

Tabla 18 Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Mineral	Fórmula	Muestra incinerada (%)	Muestra sin incinerar (%)
Grupo plagioclasas	NaAlSi ₃ O ₈	52	28
	CaAl ₂ Si ₂ O ₈		
Gypsum	CaSO ₄ ·2H ₂ O	41	22
Cuarzo	SiO ₂	7	4

Los resultados de la Tabla 18, exponen los contenidos minerales que tuvo la muestra analizada. Cabe destacar que se tuvo que incinerar la muestra de lodo residual antes de ser analizada por difracción de rayos X, esto debido a su alto contenido de materia orgánica (45.53%). Así que, los resultados de la muestra sin incinerar fueron calculados mediante una razón de proporcionalidad. Dicho esto, se pudo observar que los lodos residuales poseen 28% de grupo plagioclasas que son minerales como la albita y la anortita. Se detectó una presencia de 22% de gypsum o yeso el cual es sulfato de calcio hidratado. Por último, se observó 4% de óxido de silicio que se presenta como cristales hexagonales de cuarzo.

4.6 Resultados de ensayo de compresión de ladrillos

A continuación, en la Tabla 19 se muestran los resultados de los ensayos a compresión realizados a cada uno de los ladrillos con diferente dosificación. Se detallan las dimensiones de cada ladrillo junto con el área y su resultado de resistencia a compresión expresada en megapascuales. A su vez, se evaluó el cumplimiento de resistencia individual mínima según la NTE INEN 3049, que es de 10 MPa. Se calculó el promedio de los resultados de resistencia de cada dosificación, luego se determinó su cumplimiento según la norma NTE INEN 3049, siendo el promedio mínimo de 14 MPa para cinco unidades. Por último, se revisó el cumplimiento de la NTE INEN 294, que es de 8 MPa el promedio de cinco unidades y la NEC-SEVIVIENDA, la cual establece una resistencia mínima de 2 MPa (en este estudio se considera como el promedio de cinco unidades).

Tabla 19 Resultados de resistencia a compresión de ladrillos

Dosificación	Probeta	Dimensiones				Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia mínima individual NTE INEN 3049	Promedio	NTE INEN 3049	NTE INEN 294	NECVIVIENDA
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)						
Ladrillo de Control	1	253	105	80	26565	8.767	No	11.524	NO	SI	SI
	2	255	103	80	26265	14.455	SI				
	3	251	100	68	25100	12.951	SI				
	4	264	103	72	27192	8.357	No				
	5	248	104	70	25792	13.089	SI				
Ladrillo con 5% de Lodo Residual	1	262	101	81	26462	8.557	No	5.565	NO	NO	SI
	2	262	102	78	26724	5.080	No				
	2	261	103	80	26883	3.806	No				
	4	259	102	81	26418	3.999	No				
	5	262	100	80	26200	6.382	No				
Ladrillo con 20% de Lodo Residual	1	261	102	74	26622	0.753	No	1.553	NO	NO	NO
	2	258	101	77	26058	0.731	No				
	3	261	100	75	26100	2.899	No				
	4	261	102	77	26622	1.520	No				
	5	263	103	78	27089	1.864	No				
Ladrillo de Control con Adición de 3% de Polvo de Mármol	1	262	103	81	26986	15.059	SI	16.452	SI	SI	SI
	2	250	104	71	26000	16.125	SI				
	3	263	103	81	27089	19.205	SI				
	4	262	103	83	26986	14.595	SI				
	5	249	103	82	25647	17.278	SI				
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	261	101	78	26361	8.227	No	6.420	NO	NO	SI
	2	256	104	81	26624	3.751	No				
	3	254	105	83	26670	5.878	No				
	4	249	102	85	25398	6.515	No				
	5	254	102	80	25908	7.727	No				
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	257	104	84	26728	2.590	No	4.534	NO	NO	SI
	2	255	109	83	27795	7.313	No				
	3	256	106	84	27136	2.642	No				
	4	256	104	81	26624	5.670	No				
	5	258	103	86	26574	4.457	No				
Ladrillo con 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	251	105	82	26355	3.976	No	4.069	NO	NO	SI
	2	256	104	82	26624	3.873	No				
	3	254	105	86	26670	4.578	No				
	4	247	102	82	25194	3.849	No				

Dosificación	Probeta	Dimensiones				Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia mínima individual NTE INEN 3049	Promedio	NTE INEN 3049	NTE INEN 294	NECVIVIENDA
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)						
Ladrillo con 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	5	253	103	80	26059	4.069	No	2.135	NO	NO	SI
	1	250	105	81	26250	1.067	No				
	2	245	103	82	25235	2.350	No				
	3	252	101	80	25452	3.667	No				
	4	248	102	82	25296	1.441	No				
	5	247	104	81	25688	2.150	No				
Ladrillo de control con Adición de 12% de Polvo de Mármol	1	257	106	82	27242	1.635	No	2.418	NO	NO	SI
	2	262	105	81	27510	3.153	No				
	3	261	108	81	28188	2.306	No				
	4	263	109	82	28667	2.675	No				
	5	259	108	81	27972	2.323	No				
	1	258	109	81	28122	3.952	No				
Ladrillo con 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	2	268	106	82	28408	1.165	No	2.162	NO	NO	SI
	3	262	108	81	28296	1.369	No				
	4	260	104	81	27040	1.580	No				
	5	262	105	80	27510	2.744	No				
	1	262	109	81	28558	2.748	No				
	2	264	103	81	27192	1.081	No				
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	3	260	110	83	28600	1.789	No	1.914	NO	NO	NO
	4	259	109	81	28231	1.658	No				
	5	257	108	80	27756	2.294	No				
	1	262	103	80	26986	0.456	No				
	2	260	110	83	28600	2.261	No				
	3	261	109	83	28449	1.205	No				
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	4	263	108	82	28404	1.789	No	1.359	NO	NO	NO
	5	262	108	82	28296	1.084	No				

Como se observa en los resultados presentados en la Tabla 19, los ladrillos de control obtuvieron resistencias promedio que cumplen la norma INEN NTE 294, incluso también cumpliendo algunas muestras individualmente la norma INEN NTE 3049. Con estos resultados se procedió a realizar las distintas dosificaciones para analizar cómo afecta el lodo en la resistencia.

En el primer lote se elaboraron ladrillos con adición de lodo residual de 5% y 20%. Se detectó que los ladrillos con 20% de lodo residual disminuyeron considerablemente su resistencia a compresión, hasta el punto de no cumplir con ninguna de las normas; esto se presentaría porque las fibras orgánicas del lodo residual aumentado en esta dosificación (Ver

Tabla 4) absorbieron una gran cantidad de agua al momento de fabricar los ladrillos, lo que debilita la atracción de partículas, reduciendo así la capacidad de formación de la mezcla. Además, el lodo residual genera una gran cantidad de poros en los ladrillos por la combustión de la materia orgánica (Al-Qadhi et al., 2019).

Se evidenció que los ladrillos con 5% de adición de lodo cumplieron solo con el criterio de la norma NEC-SE-VIVIENDA. Esto podría deberse a que, por lo visto en las dos dosificaciones mencionadas, la porosidad presente en los ladrillos es directamente proporcional a la cantidad de lodo, y la resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la porosidad; pero, aunque se reemplace una cantidad pequeña de tierra negra por lodo, la resistencia a compresión se ve afectada significativamente (Ver Tabla 19).

Para el segundo lote, se añadió un porcentaje de polvo de mármol (fundente). Este porcentaje fue 3% del peso de la tierra negra. Esta adición mejoró la resistencia a la compresión de los ladrillos de control y fue posible cumplir el criterio de todas las normas establecidas, lo que podría atribuirse, a que el polvo de mármol ayudó a la fusión de los materiales en la cocción a pesar de que los hornos artesanales no mantienen una temperatura constante, un tiempo establecido de quema, ni una distribución uniforme de calor, además, garantizó que los núcleos de los ladrillos se quemaran internamente. Por el contrario, al momento de añadir lodo residual, las dosificaciones nuevamente disminuyeron su resistencia y cumplieron solo con la norma NEC-SE-VIVIENDA (resistencia mínima de 2 MPa).

En el último lote elaborado, para determinar el efecto de la presencia de fundente en la mezcla se cuadruplicó la cantidad añadida de polvo de mármol a cada dosificación (12%), además se elaboraron muestras con adición de lodos residuales en un porcentaje menor (3%). Se obtuvieron resultados que no alcanzaron la mínima resistencia a compresión, a excepción de los ladrillos de control con adición de 12% de fundente y la dosificación con 3% de lodo residual y 12% de fundente, las que alcanzaron la resistencia mínima especificada en la NEC-SE-VIVIENDA. Este problema detectado podría ser ocasionado porque, el polvo de mármol contiene carbonato de calcio, el mismo que, con el incremento de temperatura se combina con el óxido de silicio (sílice) presente en la tierra negra; pero, como existe abundante cantidad de carbonato de calcio y por la falta de sílice libre, este no reacciona y se convierte en óxido de calcio; este a su vez, al momento de hidratarse convierte se en portlandita (Ca(OH)_2). La portlandita reacciona con el CO_2 y vuelve a formar carbonato de calcio (CaCO_3) que ejerce una gran presión de cristalización en los espacios confinados del ladrillo previamente ocupados por el óxido de calcio, lo que produce fracturas radiales alrededor de los granos de carbonato, además provoca un aumento de porosidad (Toctaquiza, 2008). Este efecto es conocido como explosión por cal (Ver Figura 18).



Figura 18. Explosión por cal

Solo las cantidades pequeñas de fundente (por debajo del 5%) incrementan la resistencia a compresión (Betancourt et al., 2007). En base a los resultados de este estudio y a lo reportado por Betancourt et al. (2007), se puede colocar un porcentaje de fundente de 2% a 4%.

A continuación, en la Tabla 20, se muestra un resumen del análisis ANOVA de las medias de los resultados de resistencia a compresión de los ladrillos. Se clasifican en grupos según el porcentaje de polvo de mármol que existe en la dosificación; y, en ellos se comparan todos los resultados de resistencia del grupo, contrastando los ladrillos de control con las dosificaciones que tienen lodo residual. Finalmente, en la última columna se evidencia si existen diferencias significativas entre las medias de las dosificaciones.

Tabla 20 Análisis ANOVA de los resultados de compresión de ladrillos

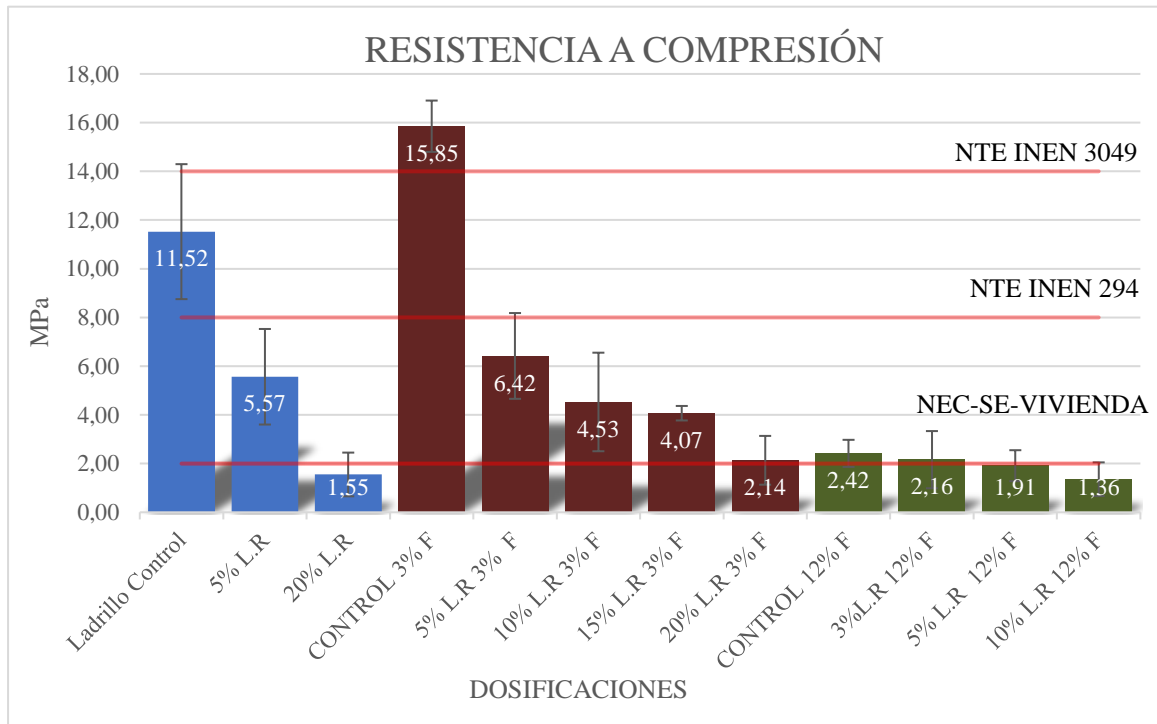
Porcentaje de polvo de mármol	Comparación entre	P - valor	F	F crítico	Conclusión
					(Existen diferencias significativas)
0%	Todos los grupos	1.93783E-05	30.60989914	3.885293835	SI EXISTEN
	Control y 5%	0.004389747	15.40267237	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	5.99158E-05	58.59219774	5.317655072	SI EXISTEN
3%	Todos los grupos	7.1065E-12	77.314577	2.866081402	SI EXISTEN
	Control y 5%	6.9073E-06	105.6657233	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	3.89314E-06	123.054496	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 15%	9.48449E-09	579.0110909	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	2.67855E-08	445.004172	5.317655072	SI EXISTEN
12%	Todos los grupos	0.229952219	1.594265788	3.238871517	NO EXISTEN
	Control y 3%	0.670540466	0.194922679	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 5%	0.218679417	1.781687356	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 10%	0.028465092	7.1164392	5.317655072	SI EXISTEN

Los resultados en la Tabla 20, muestran que el aumento de lodo residual crea diferencias significativas entre los resultados de resistencia a compresión de los ladrillos, esta diferencia podría suceder por las grietas internas y poros que genera el proceso de cocción de los lodos residuales. Inclusive, estos poros se pudieron observar incluso antes de cocer los especímenes (Ver Figura 19), lo que podría deberse al alto porcentaje de absorción del lodo residual que ocasiona un gran cambio de volumen de la mezcla durante el proceso de secado al ambiente.



Figura 19. Poros y Grietas internas de ladrillos con adición de lodo residual sin cocer.

A continuación, en la Figura 20, se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los ladrillos expresados en una gráfica de barras, donde se observa los promedios de resistencia de cada dosificación y una línea vertical que muestra la desviación estándar de cada resultado, a su vez, se grafican líneas límite de control inferior con los criterios mínimos de resistencia a compresión de ladrillos permitidos de cada normativa.



Nota: L.R es Lodo Residual y F es Fundente

Figura 20. Variación de la resistencia promedio a la compresión de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones

4.7 Resultados de ensayo a flexión de ladrillos

A continuación, en la Tabla 21, se muestran los resultados de los ensayos a flexión realizados a cada uno de los ladrillos con diferente dosificación. Se detallan las dimensiones de cada ladrillo junto con el área y resultado de resistencia a flexión expresada en megapascales. A su vez, se determinó si cumple con el criterio de resistencia mínima individual (en este estudio para poder conocer que especímenes cumplen con el criterio se considera

también la resistencia mínima de la NTE INEN 295 como individual), y en promedio la NTE INEN 295, establece en 2 MPa.

Tabla 21 Resultados resistencia a flexión de ladrillos

Dosificación	Probeta	Dimensiones				Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia mínima individual INEN NTE 295	Resistencia Promedio	INEN NTE 295
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)				
Ladrillo de Control	1	253	103	80	26059	2.665	SI	2.651	SI
	2	254	102	81	25908	2.750	SI		
	3	250	105	79	26250	2.999	SI		
	4	252	100	80	25200	2.418	SI		
	5	254	102	80	25908	2.423	SI		
Ladrillo con 5% de Lodo Residual	1	260	102	80	26520	1.448	NO	1.565	NO
	2	262	101	81	26462	1.898	NO		
	3	259	101	82	26159	1.216	NO		
	4	265	103	81	27295	1.135	NO		
	5	261	102	82	26622	2.130	SI		
Ladrillo con 20% de Lodo Residual	1	256	100	76	25600	0.663	NO	0.777	NO
	2	258	99	74	25542	0.891	NO		
	3	261	102	77	26622	1.280	NO		
	4	263	103	78	27089	0.667	NO		
	5	262	103	79	26986	0.384	NO		
Ladrillo de Control con Adición de 3% de Polvo de Mármol	1	256	103	80	26368	4.486	SI	4.430	SI
	2	260	100	81	26000	5.013	SI		
	3	257	102	80	26214	4.212	SI		
	4	254	99	81	25146	3.896	SI		
	5	252	100	81	25200	4.544	SI		
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	250	101	83	25250	1.741	NO	2.267	SI
	2	252	101	81	25452	2.625	SI		
	3	254	104	82	26416	2.177	SI		
	4	256	101	80	25856	2.431	SI		
	5	254	104	84	26416	2.360	SI		
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	254	105	83	26670	1.982	NO	1.940	NO
	2	255	105	82	26775	2.015	SI		
	3	254	106	87	26924	2.256	SI		
	4	255	102	86	26010	1.758	NO		
	5	259	104	85	26936	1.689	NO		
Ladrillo con 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	255	101	85	25755	1.612	NO	1.669	NO
	2	253	100	84	25300	2.100	SI		
	3	255	105	79	26775	1.187	NO		
	4	246	105	84	25830	1.577	NO		

Dosificación	Probeta	Dimensiones				Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia mínima individual INEN NTE 295	Resistencia Promedio	INEN NTE 295
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)				
Ladrillo con 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	5	255	105	86	26775	1.871	NO	1.594	NO
	1	251	103	81	25853	1.609	NO		
	2	250	101	80	25250	1.578	NO		
	3	246	106	81	26076	1.263	NO		
	4	245	104	81	25480	1.663	NO		
Ladrillo de control con Adición de 12% de Polvo de Mármol	5	252	108	84	27216	1.857	NO	1.578	NO
	1	258	107	83	27606	1.698	NO		
	2	263	104	82	27352	1.465	NO		
	3	259	107	80	27713	1.653	NO		
	4	262	108	81	28296	1.489	NO		
Ladrillo con 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	5	260	109	81	28340	1.587	NO	1.028	NO
	1	260	106	80	27560	0.674	NO		
	2	264	104	81	27456	0.829	NO		
	3	263	105	80	27615	1.958	NO		
	4	266	108	82	28728	1.103	NO		
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	5	260	106	86	27560	0.574	NO	0.726	NO
	1	261	104	81	27144	0.647	NO		
	2	259	111	82	28749	0.611	NO		
	3	260	109	80	28340	1.245	NO		
	4	258	112	84	28896	0.621	NO		
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	5	256	111	82	28416	0.505	NO	0.674	NO
	1	262	108	82	28296	0.458	NO		
	2	262	107	80	28034	0.725	NO		
	3	261	106	82	27666	0.666	NO		
	4	263	107	81	28141	0.698	NO		
	5	262	110	84	28820	0.823	NO		

Los resultados obtenidos y mostrados en la Tabla 21, fueron menos satisfactorios que los de resistencia a compresión, debido a que una menor cantidad de dosificaciones pudieron cumplir con el criterio mínimo establecido por la norma NTE INEN 295. Las dosificaciones control, la de control con 3% de fundente y la de 5% de lodo residual con 3% de fundente, cumplieron la resistencia mínima. A continuación, en la Tabla 22, se muestran las desviaciones que presentan los resultados de resistencia a flexión.

Tabla 22 Resumen de Desviaciones de los resultados de resistencia a flexión en ladrillos

Dosificación	Resistencia a Flexión Media (MPa)	Desviación Estándar (MPa)
Ladrillo Control	2.651	0,24
Ladrillo 5% de Lodo Residual	1.565	0,43
Ladrillo 20% de Lodo Residual	0.777	0,33
Ladrillo Control 3% de Polvo de Mármol	4.430	0,42
Ladrillo 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	2.267	0,33
Ladrillo 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1.940	0,23
Ladrillo 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1.669	0,34
Ladrillo 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1.594	0,21
Ladrillo Control 12% de Polvo de Mármol	1.578	0,10
Ladrillo 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1.028	0,56
Ladrillo 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	0.726	0,30
Ladrillo 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	0.674	0,13

En la Tabla 22, se puede evidenciar que solo una dosificación tiene una desviación estándar mayor a 0.50 MPa; lo que en términos relativos es la cuarta parte del mínimo requerido por la norma NTE INEN 295, esto podría significar que si se ensayan más especímenes el valor promedio puede cambiar.

Continuando con la Tabla 21, se pudo evidenciar que los resultados empeoran a medida que se aumenta el porcentaje de lodo residual. No se pudo obtener una mayor resistencia a flexión entre los ladrillos de control con respecto a los ladrillos con adición de polvo de mármol. Los resultados de resistencia a flexión con especímenes de dosificaciones con 12 % de fundente, muestran un decrecimiento considerable en la resistencia, (salvo la dosificación de control con 12% de polvo de mármol), lo que significa que el lodo residual con la mezcla del polvo de mármol influyó negativamente en los resultados con respecto a los demás especímenes. Esto podría ser ocasionado por la vitrificación al momento de la cocción en los ladrillos; puesto a que, mientras mayor cantidad de fundente exista en la cocción, mayor será el material vitrificado, lo que provoca que el espécimen se vuelva frágil porque las grietas causadas por la hidratación del óxido de calcio son intensas (Betancourt et al., 2007). Además, como ya se evidenció el lodo residual trae consigo una mayor cantidad de porosidad, y un aumento de plasticidad a la mezcla. Estos dos escenarios juntos producirían un agrietamiento interno masivo producto de la unión de los poros y una inadecuada plasticidad que produce una falla en la extrusión y en el desarrollo de heterogeneidades en el cuerpo del ladrillo, lo que resulta en propiedades mecánicas débiles (Moulato et al., 2023).

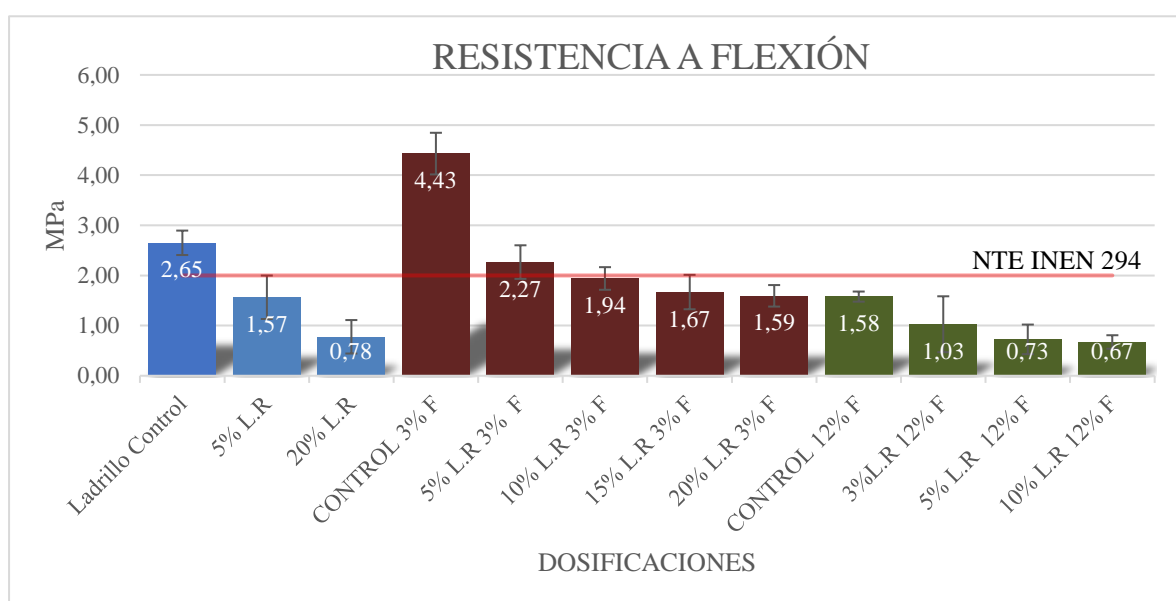
A continuación, en la Tabla 23, se muestra un resumen del análisis ANOVA de las medias de los resultados de resistencia a flexión de los ladrillos. Se clasifican en grupos según el porcentaje de polvo de mármol que existe en la dosificación; y, en ellos se comparan todos los resultados de resistencia del grupo y cada media de resistencia que tienen los ladrillos con una dosificación de lodo residual con la media de resistencia que tienen los ladrillos de control del grupo. Finalmente, en la última columna se evidencia si existen diferencias significativas entre las dosificaciones.

Tabla 23 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia a la flexión

Porcentaje de polvo de mármol	Comparación entre	P - valor	F	F crítico	Conclusión
					(Existen diferencias significativas)
0%	Todos los grupos	7.32236E-06	37.05690273	3.885293835	SI EXISTEN
	Control y 5%	0.001217067	23.86046778	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	7.63897E-06	102.8613654	5.317655072	SI EXISTEN
3%	Todos los grupos	1.95461E-11	69.34697648	2.866081402	SI EXISTEN
	Control y 5%	1.74586E-05	82.3236401	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	2.45343E-06	138.9877626	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 15%	3.02635E-06	131.5172338	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	8.33E-07	184.2952095	5.317655072	SI EXISTEN
12%	Todos los grupos	0.001665142	8.091612123	3.238871517	SI EXISTEN
	Control y 3%	0.061293686	4.732671942	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 5%	0.000286424	37.32729943	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	2.09329E-06	144.9049828	5.317655072	SI EXISTEN

En la Tabla 23, se puede evidenciar que existen diferencias significativas en la resistencia a flexión en los ladrillos cuando todos los grupos clasificados por su contenido de polvo de mármol son comparados, esto da a entender que tanto el lodo como el fundente influyen en la resistencia a la flexión de los especímenes. Solamente se puede notar que entre los ladrillos de control con 12% de fundente y los ladrillos de 3% de lodo residual con 12% de fundente tienen medias estadísticamente iguales, esto puede deberse al bajo porcentaje de lodo añadido a la dosificación, lo cual no representó una influencia significativa, a diferencia de las otras dosificaciones que sí presentaron diferencias en las medias.

En la *Figura 21*, se muestran los resultados del ensayo a resistencia a la flexión de los ladrillos expresados en una gráfica de barras, donde se detallan los promedios de resistencia a flexión de cada dosificación, una línea vertical que muestra la desviación estándar de cada resultado y una línea límite de control inferior que muestra el criterio mínimo de resistencia permitido en la normativa.



Nota: L.R es Lodo Residual y F es Fundente

Figura 21. Variación de la resistencia promedio a la flexión de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones

4.8 Resultados de ensayo de absorción de agua en ladrillos

A continuación, en la Tabla 24, se muestran los resultados de los ensayos de absorción que se realizaron a los ladrillos con diferente dosificación. Se detalló el peso saturado superficialmente seco y peso seco de cada espécimen, junto con el porcentaje de absorción de agua. A su vez, se evaluó si cumple con la absorción máxima individual especificada en la NTE INEN 3049, que es de 20 %. Se calculó el promedio de los resultados de absorción de cada dosificación para compararlo con el porcentaje promedio máximo, especificado en la norma NTE INEN 296, para el promedio de cinco ladrillos, mismo que es de 25%, y la norma NTE INEN 3049, para el promedio de cinco ladrillos, mismo que es de 17%.

Tabla 24 Resultados de absorción de ladrillos

Dosificación	Probeta	PESO (g)		Absorción (%)	Absorción individual mínima NTE INEN 3049	Promedio de Absorciones	NTE INEN 296	NTE INEN 3049
		Peso Superficialmente Seco (g)	Peso Seco al Horno (g)					
Ladrillo de Control	1	2975.6	2430.5	22.43	NO	22.368	SI	NO
	2	2970.8	2429.1	22.30	NO			
	3	2971.6	2430.1	22.28	NO			
	4	2973.9	2429.7	22.40	NO			
	5	2974.8	2429.8	22.43	NO			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual	1	3335.4	2480.7	34.45	NO	24.373	SI	NO
	2	2997.4	2472.1	21.25	NO			
	3	2976.4	2428.6	22.56	NO			
	4	2973.6	2432.1	22.26	NO			
	5	2998.7	2471.3	21.34	NO			
Ladrillo con 20% de Lodo Residual	1	2760.9	1931.5	42.94	NO	37.080	NO	NO
	2	2956.5	2139.8	38.17	NO			
	3	2993.6	2403.6	24.55	NO			
	4	2957.3	2140.1	38.19	NO			
	5	2853.4	2015.7	41.56	NO			
Ladrillo de Control con Adición de 3% de Polvo de Mármol	1	2987.5	2466.3	21.13	NO	21.142	SI	NO
	2	2975.4	2461.3	20.89	NO			
	3	2990.6	2466.5	21.25	NO			
	4	2997.8	2470.5	21.34	NO			
	5	2989.5	2468.7	21.10	NO			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	3059.2	2376.2	28.74	NO	29.543	NO	NO
	2	3096.6	2390.7	29.53	NO			
	3	3060.5	2356.8	29.86	NO			
	4	3058.9	2350.7	30.13	NO			

Dosificación	Probeta	PESO (g)		Absorción (%)	Absorción individual mínima NTE INEN 3049	Promedio de Absorciones	NTE INEN 296	NTE INEN 3049
		Peso Superficialment e Seco (g)	Peso Seco al Horno (g)					
	5	3091.2	2387.8	29.46	NO			
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	2995.8	2293.9	30.60	NO	29.416	NO	NO
	2	2860.2	2260.6	26.52	NO			
	3	2981.4	2295.6	29.87	NO			
	4	2980.1	2292.9	29.97	NO			
	5	2979.7	2290.1	30.11	NO			
Ladrillo con 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	2957.4	2259.2	30.90	NO	27.909	NO	NO
	2	2972.1	2294.6	29.53	NO			
	3	2879.3	2305.9	24.87	NO			
	4	2970.8	2293.8	29.51	NO			
	5	2878.4	2307.6	24.74	NO			
Ladrillo con 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	2681.1	2012.7	33.21	NO	33.133	NO	NO
	2	2656.4	1969.7	34.86	NO			
	3	2534.5	1931.9	31.19	NO			
	4	2680.3	2011.9	33.22	NO			
	5	2682.1	2013.9	33.18	NO			
Ladrillo de control con Adición de 12% de Polvo de Mármol	1	3265.1	2675.3	22.05	NO	25.100	NO	NO
	2	3334.6	2611.3	27.70	NO			
	3	3251.2	2584.6	25.79	NO			
	4	3125.3	2599.3	20.24	NO			
	5	3415.9	2633.1	29.73	NO			
Ladrillo con 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1	3376.1	2679.9	25.98	NO	26.931	NO	NO
	2	3523.7	2663.4	32.30	NO			
	3	3299.2	2635.4	25.19	NO			
	4	3305.8	2641.1	25.17	NO			
	5	3380.7	2682.7	26.02	NO			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1	3237.0	2468.2	31.15	NO	35.469	NO	NO
	2	3145.2	2314.4	35.90	NO			
	3	3181.5	2299.2	38.37	NO			
	4	3147.9	2315.7	35.94	NO			
	5	3143.8	2311.8	35.99	NO			
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1	2889.4	2242.7	28.84	NO	37.864	NO	NO
	2	2967.1	2187.8	35.62	NO			
	3	3116.3	2162.3	44.12	NO			
	4	3125.5	2165.8	44.31	NO			
	5	2987.5	2189.7	36.43	NO			

Con los resultados obtenidos en la Tabla 24, se demostró un incremento de absorción proporcional al aumento del porcentaje de lodo residual. Las dosificaciones que lograron cumplir el máximo de absorción establecido en la NTE INEN 296, fueron las que no tuvieron adición de lodo residual a excepción de la dosificación con 5% de lodo. Esto podría deberse a que los especímenes con mayor cantidad de lodo poseen mayores cantidades de vacíos (Salim et al., 2018). Cabe resaltar que, ningún ladrillo cumplió con el máximo de absorción que permite la norma NTE INEN 3049. Además, el polvo de mármol genera grietas que son ocasionadas por la súbita expansión del óxido de calcio en presencia de la humedad del ambiente (Toctaquiza, 2008). Esto podría justificar que los ladrillos con mayor cantidad de fundente tengan un aumento en los valores de absorción.

A continuación, en la Tabla 25, se muestra un resumen del análisis ANOVA de las medias de los resultados de absorción de agua de los ladrillos. Se clasifican en grupos según el porcentaje de polvo de mármol que existe en la dosificación, y en ellos se comparan todos los resultados de absorción del grupo y cada media que tienen los ladrillos con una dosificación de lodo residual con la media de absorción que tienen los ladrillos de control del grupo. Finalmente, en la última columna se evidencia si existen diferencias significativas entre las dosificaciones.

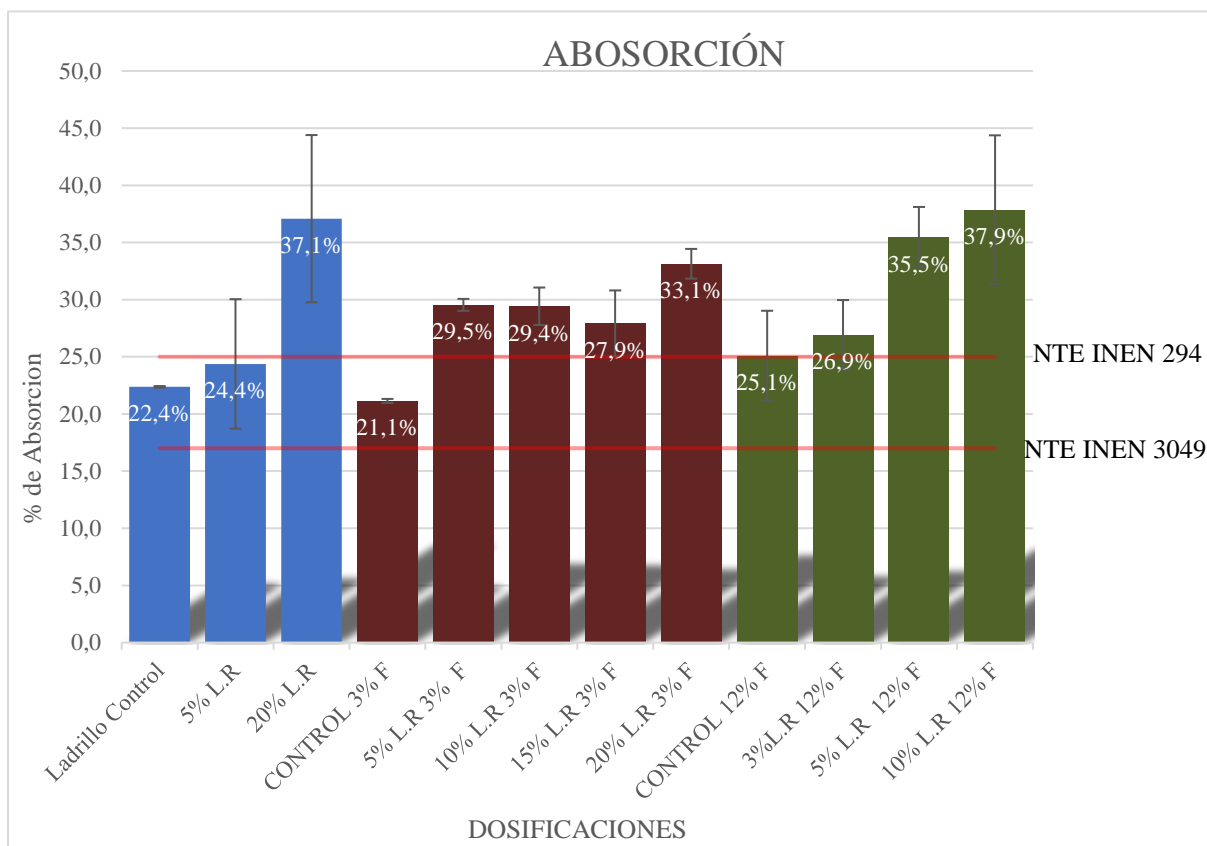
Tabla 25 Análisis ANOVA de los resultados de absorción

Porcentaje de polvo de mármol	Comparación entre	P - valor	F	F crítico	Conclusión (Existen diferencias significativas)
0%	Todos los grupos	0.001827679	11.15936729	3.885293835	SI EXISTEN
	Control y 5%	0.45142611	0.626625356	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 20%	0.002006278	20.23578688	5.317655072	SI EXISTEN
3%	Todos los grupos	5.48305E-09	37.09636876	2.866081402	SI EXISTEN
	Control y 5%	5.83793E-10	1169.702616	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	3.58146E-06	125.7995146	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 15%	0.000802087	27.25372831	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	3.45733E-08	417.0529846	5.317655072	SI EXISTEN
12%	Todos los grupos	0.000430203	10.65003526	3.238871517	SI EXISTEN
	Control y 3%	0.43310959	0.681152512	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 5%	0.00118839	24.04505327	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	0.00557412	14.10944282	5.317655072	SI EXISTEN

Lo expuesto en la Tabla 25, expresa que el lodo residual influye significativamente en la absorción de ladrillos, esto podría ser por la gran cantidad de materia orgánica, el aumento de plasticidad, el agrietamiento y los vacíos que produce la adición de lodo residual en la mezcla en el proceso de cocción de los ladrillos. Existen diferencias significativas en todos los grupos excepto cuando se comparan las muestras sin fundente de control con las muestras con un 5% de lodos residuales y cuando se comparan las muestras con 12% de fundente de control con las muestras con un 3% de lodos residuales, lo que podría deberse a que los lodos no producen una diferencia significativa en la capacidad de absorción cuando se usan en bajos porcentajes y, en el caso de las muestras con 12% de fundente, sus absorciones ya estuvieron afectadas en las muestras de control debido al perjuicio de usar un porcentaje tan alto de fundente.

A continuación, *Figura 22*, una gráfica de barras donde se detalló los promedios de absorción de cada dosificación y una línea vertical que muestra la desviación estándar de cada

resultado, a su vez se graficaron líneas límite de control superior, que muestran el criterio máximo de absorción permitido en las normativas.



Nota: L.R es Lodo Residual y F es Fundente

Figura 22. Variación de la absorción de agua promedio de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones

4.9 Resultados de ensayo de densidad y porosidad de ladrillos

Se realizaron los ensayos pertinentes para determinar características de densidad y porosidad, se obtuvieron los resultados expresados en la Tabla 26, donde se detalla el peso saturado sumergido, el peso saturado superficialmente seco y el peso seco de cada probeta en gramos con una precisión de 0.1g. Luego se calculó la densidad y la densidad y porosidad aparentes promedio de cada dosificación expresadas en gramos sobre centímetros cúbicos.




Tabla 26 Resultados de densidad y porosidad de los ladrillos

Dosificación	Probeta	Pesos (g)			Densidad ($\bar{\rho}_{SH}$) g/cm ³	Densidad Aparente ($\bar{\rho}_A$) g/cm ³	Porosidad Aparente (P_A) %
		Peso saturado Sumergido (g)	Peso saturado superficialment e Seco (g)	Peso Seco (g)			
Ladrillo de Control	1	988.9	2975.6	2430.5	1.224	1.686	27.38
	2	987.3	2970.8	2429.1			
	3	989.8	2971.6	2430.1			
	4	987.5	2973.9	2429.7			
	5	988.6	2974.8	2429.8			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual	1	1186.6	3335.4	2480.7	1.212	1.724	29.40
	2	987.8	2997.4	2472.1			
	3	989.5	2976.4	2428.6			
	4	988.7	2973.6	2432.1			
	5	987.6	2998.7	2471.3			
Ladrillo con 20% de Lodo Residual	1	867.0	2760.9	1931.5	1.075	1.784	39.51
	2	927.6	2956.5	2139.8			
	3	960.2	2993.6	2403.6			
	4	928.2	2957.3	2140.1			
	5	958.7	2853.4	2015.7			
Ladrillo de Control con Adición de 3% de Polvo de Mármol	1	987.8	2987.5	2466.3	1.234	1.670	26.10
	2	988.6	2975.4	2461.3			
	3	991.5	2990.6	2466.5			
	4	992.6	2997.8	2470.5			
	5	989.5	2989.5	2468.7			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	948.1	3059.2	2376.2	1.121	1.676	33.12
	2	976.9	3096.6	2390.7			
	3	943.5	3060.5	2356.8			
	4	942.6	3058.9	2350.7			
	5	975.1	3091.2	2387.8			
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	903.9	2995.8	2293.9	1.106	1.640	32.53
	2	847.1	2860.2	2260.6			
	3	900.1	2981.4	2295.6			
	4	905.3	2980.1	2292.9			
	5	904.6	2979.7	2290.1			
Ladrillo con 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	1	789.7	2957.4	2259.2	1.087	1.560	30.29
	2	871.9	2972.1	2294.6			
	3	789.7	2879.3	2305.9			
	4	870.6	2970.8	2293.8			
	5	788.6	2878.4	2307.6			
	1	649.3	2681.1	2012.7	0.989	1.472	32.77

Dosificación	Probeta	Pesos (g)			Densidad (\bar{D}_{SH}) g/cm ³	Densidad Aparente (\bar{D}_A) g/cm ³	Porosidad Aparente (P_A) %
		Peso saturado Sumergido (g)	Peso saturado superficialmente Seco (g)	Peso Seco (g)			
Ladrillo con 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	2	689.2	2656.4	1969.7	1.173	1.664	29.26
	3	546.7	2534.5	1931.9			
	4	647.3	2680.3	2011.9			
	5	648.6	2682.1	2013.9			
Ladrillo de control con Adición de 12% de Polvo de Mármol	1	1030.6	3254.2	2599.6	1.145	1.661	30.85
	2	1165.3	3407.6	2576.3			
	3	956.8	3195.6	2666.5			
	4	976.3	3186.3	2541.3			
Ladrillo con 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	5	1025.6	3179.9	2598.6	1.023	1.602	36.18
	1	1058.7	3376.1	2679.9			
	2	1203.0	3523.7	2663.4			
	3	972.0	3299.2	2635.4			
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	4	975.6	3305.8	2641.1	0.973	1.541	36.66
	5	1062.4	3380.7	2682.7			
	1	990.9	3237.0	2468.2			
	2	842.5	3145.2	2314.4			
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	3	882.6	3181.5	2299.2	0.973	1.541	36.66
	4	843.8	3147.9	2315.7			
	5	839.9	3143.8	2311.8			
	1	640.7	2889.4	2242.7			
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	2	819.0	2967.1	2187.8	0.973	1.541	36.66
	3	770.7	3116.3	2162.3			
	4	775.8	3125.5	2165.8			
	5	815.3	2987.5	2189.7			

Según los resultados obtenidos de la Tabla 26, se evidenció que, a medida que se aumentó el porcentaje de lodo residual en las dosificaciones, el peso del ladrillo disminuyó, y por lo tanto la densidad también. La menor densidad fue de 0.973 g/cm³ en la dosificación de 10% de lodo residual y 12% de fundente, también en la dosificación con 20% de lodo residual y la dosificación con 20% de lodo residual y 3% de fundente se obtuvieron densidades bajas (1.075 g/cm³ y 0.989 g/cm³, respectivamente). Con los resultados reportados en las Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29, se puede notar que la porosidad sufrió cambios a medida que se aumentaba tanto el lodo residual como el fundente. Se realizaron cortes transversales y longitudinales a los ladrillos para poder observar estos cambios físicos, los cortes de las secciones transversales de los ladrillos elaborados con adición de 3% de lodo residual se detallan a continuación en la Tabla 27.







Tabla 27 Porosidad en ladrillos en función del porcentaje de lodo residual (3%), corte transversal.





Dosificación	Corte Transversal
Ladrillo de Control	
Adición de 5% de Lodo Residual	
Adición de 20 % de Lodo Residual	

En la Tabla 27, se observa como el lodo residual influyó en la porosidad de los ladrillos, además se puede notar que se van creando grietas mayores a medida que el lodo residual aumenta en la dosificación, estas características tuvieron influencia en el peso, como se puede evidenciar en la Tabla 26 . También, probablemente estas porosidades y grietas fueron las causantes de que la resistencia a compresión y flexión disminuyera mientras más lodo residual tenía la dosificación.

A continuación, en la Tabla 28 se muestran los cortes longitudinales y transversales que se realizaron a los ladrillos con adición de 3% de Polvo de Mármol.

Tabla 28 Porosidad en ladrillos con 3% de fundente en función del porcentaje de lodo residual, corte longitudinal y transversal.





Dosificación	Corte Longitudinal	Corte Transversal
<p>Ladrillo de Control 3% de Polvo de Mármol</p>		
<p>Adición de 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol</p>		
<p>Adición de 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol</p>		

Dosificación	Corte Longitudinal	Corte Transversal
<p data-bbox="209 456 560 562">Adición de 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol</p>		
<p data-bbox="209 911 560 1016">Adición de 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol</p>		

En la Tabla 28, nuevamente se puede apreciar como la adición de lodo residual generó más porosidad en los ladrillos a medida que este aumentaba. También se aprecia la influencia del polvo de mármol, ya que, se puede ver como los núcleos quedaron más cocidos mostrando un color más oscuro. Con esto, se puede decir que los ladrillos pudieron alcanzar temperaturas más altas, provocado que la materia orgánica presente en el ladrillo por la adición del lodo residual, se incinere con mayor facilidad y se pierda, dando como resultado que exista más porosidad y grietas con respecto a las dosificaciones sin adición de polvo de mármol.

A continuación, en la Tabla 29 se muestran imágenes de los cortes transversales realizados a los ladrillos con 12% de polvo de mármol, con la intención igualmente de observar la influencia tanto del lodo residual como del polvo de mármol.

Tabla 29 Porosidad en ladrillos en función del porcentaje de lodo residual (12%), transversal.

Dosificación	Corte Transversal
Control 12% Polvo de Mármol	
Adición de 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	
Adición de 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	
Adición de 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	

En la Tabla 29, se puede evidenciar como los ladrillos presentan un color amarillo, algunas partes quemadas y no se puede visualizar un núcleo. Este problema podría ser debido a que; si de por sí, ya existe abundante fundente, la disminución de tierra negra y la adición de lodo producirían un exceso de carbonato de calcio que no puede reaccionar (Toctaquiza, 2008). Esta explicación se evidencia en la dosificación con 10% de lodo residual y 12% de fundente; ya que, reporta una mayor cantidad de material quemado y mayor porosidad e intensidad de color amarillo, debido a que contiene menor cantidad de tierra negra con respecto a las otras dosificaciones del grupo, provocando que una mayor cantidad de carbonato de calcio no reaccione.

Finalmente, si se analizan las imágenes de las Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29, se puede notar que coinciden en que los ladrillos con mayor porcentaje de lodo residual en la mezcla son los que presentaron mayor porosidad y agrietamiento. Además, el aumento excesivo de fundente también provocó un aumento en la porosidad. Todo lo mencionado fue corroborado por los resultados obtenidos en la Tabla 26.

Se elaboró igualmente el análisis ANOVA con los resultados de la densidad y la porosidad, los cuales se muestran en la Tabla 30 y Tabla 31. En la Tabla 30, se puede observar que la densidad media de los ladrillos de control sin fundente es estadísticamente igual a la densidad media de los ladrillos con 5% de lodo residual sin fundente. A su vez también se observa una igualdad estadística entre los ladrillos de control con 12% de fundente y los ladrillos con 3% de lodo residual y 12% de fundente. Esto probablemente se debe a que el porcentaje de adición de lodo residual en estas dosificaciones es bajo y no presentó un cambio significativo con respecto a los ladrillos de control.

, respectivamente, con el objetivo de poder determinar si existieron o no igualdades estadísticas en las medias de los resultados.

Tabla 30 Análisis ANOVA de los resultados de densidad

Porcentaje de polvo de mármol	Comparación entre	P - valor	F	F crítico	Conclusión
					(Existen diferencias significativas)
0%	Todos los grupos	0.000121787	20.94951819	3.885293835	SI EXISTEN
	Control y 5%	0.434427448	0.67710016	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 20%	0.000674663	28.76943394	5.317655072	SI EXISTEN
3%	Todos los grupos	6.73747E-16	203.5944695	2.866081402	SI EXISTEN
	Control y 5%	2.40561E-09	818.8377917	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	2.82353E-09	786.4114414	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 15%	1.31404E-06	163.6789996	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	2.64595E-11	2543.49711	5.317655072	SI EXISTEN
12%	Todos los grupos	1.79382E-07	37.5748822	3.238871517	SI EXISTEN
	Control y 3%	0.058404903	4.868352692	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 5%	0.000140878	45.94841743	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	3.48336E-05	68.13522674	5.317655072	SI EXISTEN

En la Tabla 30, se puede observar que la densidad media de los ladrillos de control sin fundente es estadísticamente igual a la densidad media de los ladrillos con 5% de lodo residual sin fundente. A su vez también se observa una igualdad estadística entre los ladrillos de control con 12% de fundente y los ladrillos con 3% de lodo residual y 12% de fundente. Esto probablemente se debe a que el porcentaje de adición de lodo residual en estas dosificaciones es bajo y no presentó un cambio significativo con respecto a los ladrillos de control.

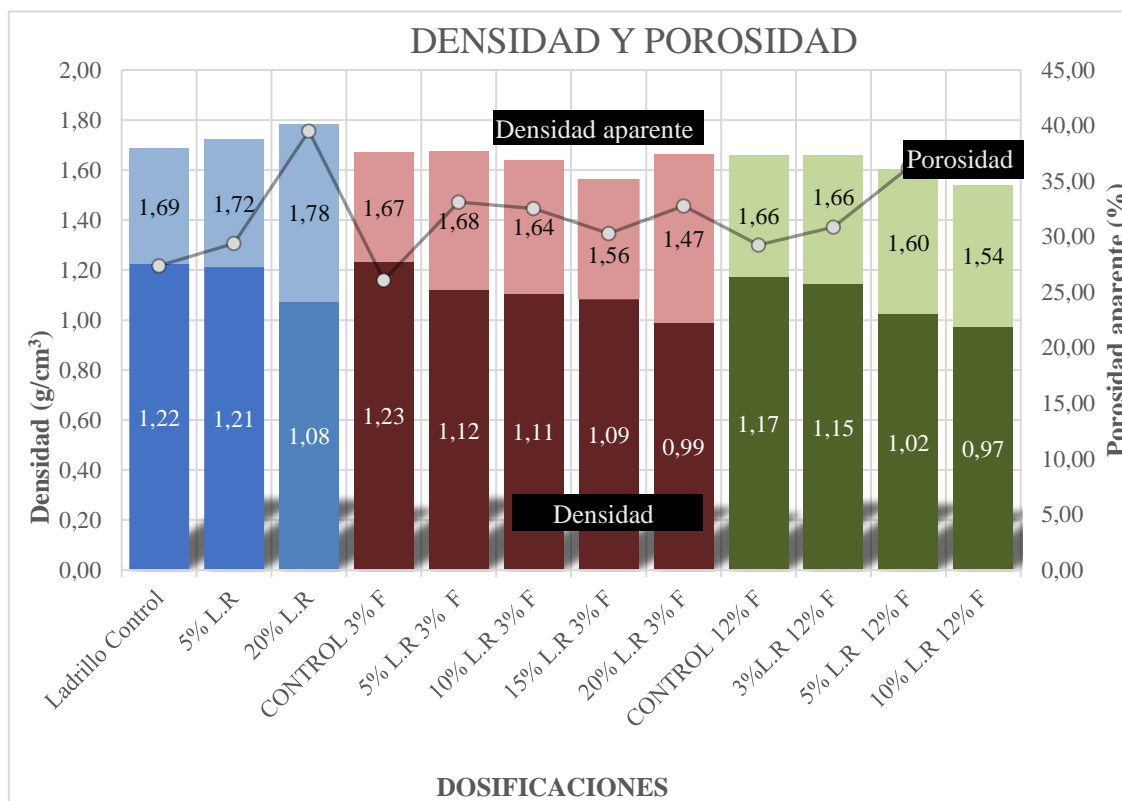
Tabla 31 Análisis ANOVA de los resultados de porosidad aparente

Porcentaje de polvo de mármol	Comparación entre	P - valor	F	F crítico	Conclusión
					(Existen diferencias significativas)
0%	Todos los grupos	0.004439155	8.800209392	3.885293835	SI EXISTEN
	Control y 5%	0.461864604	0.597207897	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 20%	0.002277463	19.38681931	5.317655072	SI EXISTEN
3%	Todos los grupos	2.64421E-06	17.44141389	2.866081402	SI EXISTEN
	Control y 5%	6.81931E-10	1124.86194	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	1.54103E-05	85.15894164	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 15%	0.007882366	12.36810164	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 20%	0.000017002	82.91799191	5.317655072	SI EXISTEN
12%	Todos los grupos	0.019374407	4.402006268	3.238871517	SI EXISTEN
	Control y 3%	0.575531266	0.340658495	5.317655072	NO EXISTEN
	Control y 5%	0.017131207	8.986303337	5.317655072	SI EXISTEN
	Control y 10%	0.04502325	5.631925285	5.317655072	SI EXISTEN

En la Tabla 31, se detalla el análisis ANOVA realizado en los resultados de la porosidad aparente de los ladrillos de cada dosificación. Se puede observar que al igual que en el análisis realizado de la densidad de ladrillos, existe una igualdad estadística entre los ladrillos de control sin fundente y los ladrillos con 5% de lodo residual. Igualmente hay una igualdad estadística entre los ladrillos de control con 12% de fundente y los ladrillos con 3% de lodo residual y 12% de fundente. Con estos resultados se puede evidenciar la interrelación entre densidad y porosidad de los ladrillos, y el efecto de los lodos y polvo de mármol en estas propiedades.

En la Figura 23, se muestran los resultados de densidad y densidad aparente mediante un gráfico de barras apiladas. En la parte inferior de cada barra se encuentra el valor de la densidad de cada dosificación y en la parte superior de la barra está el valor de la densidad aparente. También, en la misma figura se elaboró una línea conectada por puntos, los cuales representan

la porosidad aparente de cada dosificación y los valores se expresan en porcentaje ubicados en el eje vertical secundario, que está al lado derecho de la gráfica.



Nota: L.R es Lodo Residual y F es Fundente (polvo de mármol)

Figura 23. Variación porosidad de las muestras de ladrillo de todas las dosificaciones

4.10 Análisis de costos de fabricación de ladrillos artesanales.

Dentro del estudio económico de un ladrillo artesanal. se realizó un análisis de precios unitarios (APU) y se determinó el precio por unidad de ladrillo. Se calculó el análisis en todas las dosificaciones incluyendo la dosificación tradicional.

Los datos de producción y los costos de materiales se obtuvieron de la ladrillera artesanal en donde se elaboraron las muestras. Estos precios son para la producción del artesano, no están relacionados con la venta al público, por esta razón no existen costos indirectos ni utilidades.

En el **Anexo 3**, se evidencia cada uno de los análisis, a continuación, en la Tabla 32, se presenta un resumen de los precios de fabricación de ladrillos con adición de lodo residual y fundente. En la primera columna se establece el nombre de la dosificación, seguido con la característica principal que posee esta dosificación y finalmente en la tercera columna se estableció el precio unitario en dólares americanos (USD) que se necesita para fabricar el ladrillo con dichas características.

Tabla 32 Resumen de Análisis de Precios Unitarios

DOSIFICACIONES		PRECIO (USD/ Unidad)
Dosificación	Detalle	
Dosificación Gravimétrica Tradicional	Sin Lodo Residual ni Polvo de Mármol	0.10
Dosificación 1	Adición 5% de Lodo Residual	0.11
Dosificación 2	Adición 20 % de Lodo Residual	0.12
Dosificación 3	Adición 3 % de Polvo de Mármol	0.11
Dosificación 4	Adición 5 % de Lodo Residual - Adición 3 % de Polvo de Mármol	0.12
Dosificación 5	Adición 10 % de Lodo Residual - Adición 3 % de Polvo de Mármol	0.13
Dosificación 6	Adición 15 % de Lodo Residual - Adición 3 % de Polvo de Mármol	0.13
Dosificación 7	Adición 20 % de Lodo Residual - Adición 3 % de Polvo de Mármol	0.13
Dosificación 8	Adición 12 % de Polvo de Mármol	0.13
Dosificación 9	Adición 3 % de Lodo Residual - Adición 12 % de Polvo de Mármol	0.14
Dosificación 10	Adición 5 % de Lodo Residual - Adición 12 % de Polvo de Mármol	0.14
Dosificación 11	Adición 10 % de Lodo Residual - Adición 12 % de Polvo de Mármol	0.14

Como se puede evidenciar en la Tabla 32 el precio para la elaboración de ladrillo en la dosificación tradicional es de 0.10 USD. Seguido por el precio de la Dosificación 1 y Dosificación 3 que tienen un valor de 0.11 USD. La dosificación con el precio más bajo que contiene lodo residual es el de la Dosificación 1 y la dosificación más alta con lodo residual es la Dosificación 9, Dosificación 10 y Dosificación 11, esto se debe a que el polvo de mármol es relativamente costoso, además el costo para el transporte y preparación del lodo residual es alto debido a que se debe transportar de un cantón a otro y previo a ser utilizado debe estar completamente seco y tamizado.

A continuación, se presenta la Figura 24, en la cual se comparó los precios de los ladrillos con lodo residual, ladrillos con fundente y ladrillos con fundente - lodo. Se encuentran agrupados según sus características.



Nota: Nota: L.R es Lodo Residual y F es Fundente

Figura 24. Comparación de Precios de Elaboración de Ladrillos

Al observar la Figura 24, se evidenció que existe un 40% de diferencia entre el costo de producción del ladrillo más caro con el más barato. Esta diferencia la podemos notar en el

Anexo 3, debido a que al momento de hacer un ladrillo con adición de fundente y lodo residual se requiere de más mano de obra y la dosificación necesita una cantidad mayor de materiales. El precio de este estudio se diferenció con lo establecido por Camargo & Yambay (2020), quienes establecieron un precio tanto del ladrillo tradicional como el ladrillo con 5% de adición de lodo residual en 0.15 USD. Dentro de la principal diferencia del análisis de precios fue el uso de cementina para la elaboración de sus dos dosificaciones, además establecieron que el lodo residual de la PTAR-Q no tiene costo alguno.

4.11 Comparación entre los resultados de las dosificaciones

A continuación, en la Tabla 33 se muestra un resumen con todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados en los ladrillos con diferentes dosificaciones con lodo residual y fundente, al final se colocó el precio de fabricación individual de cada ladrillo.

Tabla 33 Resumen de resultados

Dosificación	Compresión				Flexión		Absorción			Densidad (δ SH) g/cm ³	Densidad Aparente (δ A) g/cm ³	Porosidad Aparente (PA) %	Precio (USD/Unidad)
	Promedio (MPa)	NTE INEN 3049	NTE INEN 294	NECVIVIENDA	Promedio (MPa)	NTE INEN 294	Promedio (%)	NTE INEN 296	NTE INEN 3049				
Ladrillo de Control	11.524	NO	SI	SI	2.651	SI	22.368	SI	NO	1.224	1.686	27.38	0.10
Ladrillo con 5% de Lodo Residual	5.565	NO	NO	SI	1.565	NO	24.373	SI	NO	1.212	1.724	29.40	0.12
Ladrillo con 20% de Lodo Residual	1.553	NO	NO	NO	0.777	NO	37.080	NO	NO	1.075	1.784	39.51	0.14
Ladrillo de Control con Adición de 3% de Polvo de Mármol	16.452	SI	SI	SI	4.430	SI	21.142	SI	NO	1.234	1.670	26.10	0.11
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	6.420	NO	NO	SI	2.267	SI	29.543	NO	NO	1.121	1.676	33.12	0.13
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	4.534	NO	NO	SI	1.940	NO	29.416	NO	NO	1.106	1.640	32.53	0.13
Ladrillo con 15% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	4.069	NO	NO	SI	1.669	NO	27.909	NO	NO	1.087	1.560	30.29	0.14
Ladrillo con 20% de Lodo Residual y 3% de Polvo de Mármol	2.135	NO	NO	SI	1.594	NO	33.133	NO	NO	0.989	1.472	32.77	0.14
Ladrillo de control con Adición de 12% de Polvo de Mármol	2.418	NO	NO	SI	1.578	NO	25.100	NO	NO	1.173	1.664	29.26	0.13
Ladrillo con 3% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	2.162	NO	NO	SI	1.028	NO	26.931	NO	NO	1.145	1.661	30.85	0.14
Ladrillo con 5% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1.914	NO	NO	NO	0.726	NO	35.469	NO	NO	1.023	1.602	36.18	0.14
Ladrillo con 10% de Lodo Residual y 12% de Polvo de Mármol	1.359	NO	NO	NO	0.674	NO	37.864	NO	NO	0.973	1.541	36.66	0.15

Con lo expuesto en la Tabla 33, se destacaron dos dosificaciones que poseen adición de lodo residual. La primera de estas dosificaciones fue de 5% de lodo residual ya que cumplió con lo establecido en la norma NEC-SE-VIVIENDA en compresión y la NTE INEN 296 en absorción. También se destacó la dosificación con 5% de lodo residual y 3% de polvo de mármol la cual cumplió con lo establecido en la norma NEC-SE-VIVIENDA en compresión y la NTE INEN 294 en flexión. Hay que tener en cuenta que estas dosificaciones no pudieron superar las características de los ladrillos de control utilizados para cada dosificación, sin embargo, siguen cumpliendo criterios normativos para ser utilizados en construcción.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

En consecuencia, del proceso llevado a cabo, el análisis de los datos y la discusión de los resultados se determinó que si fue posible utilizar el lodo residual de la Planta de Tratamiento Villa la Unión del cantón Colta para elaborar ladrillos artesanales. Sin embargo, no se determinó una dosificación que pueda cumplir con todos los estándares de calidad. Se destaca la dosificación con 5% de lodo residual y la dosificación con 5% de lodo residual y 3% de polvo de mármol las mismas que cumplen con un mayor número de estándares de calidad, con respecto a las demás dosificaciones.

El lodo residual de la Planta de Tratamiento Villa la Unión del cantón Colta utilizado para la elaboración de ladrillos artesanales correspondió a una arena bien graduada con limo de alta plasticidad (SW-SM). La cantidad de materia orgánica presente en el lodo fue de 45.53%, según el resultado del ensayo por pérdidas de ignición, lo que afectó el cumplimiento de estándares de resistencia. La composición del porcentaje restante estableció la presencia de los siguientes compuestos: Grupo plagioclasas (28%), gypsum (22%) y cuarzo (4%). En cuanto a las características químicas, el examen CRETIB proporcionado por el Ilustre Municipio Descentralizado del Cantón Colta, estableció que el lodo residual en su disposición final dentro de la PTAR no cumplió con todos criterios de las normativas ambientales utilizadas actualmente en el Ecuador para poder desecharlos en botaderos, pero si cumplió normativas para ser manipulado y utilizado en la industria. Debido a estas características, en este estudio no se realizó ningún tratamiento químico adicional a los lodos residuales antes de utilizarlos en la elaboración de ladrillos artesanales. Únicamente se realizaron procesos físicos que fueron: secado al aire libre, tamizado y triturado.

Con la adición de lodos residuales de la planta de tratamiento de Villa la Unión, cantón Colta no se encontró una dosificación que cumpla con todos los parámetros establecidos en la NTE INEN 3049 (Compresión y Absorción). Sin embargo, todas las dosificaciones; excepto la Dosificación 2 (Adición 20 % de Lodo Residual), Dosificación 10 (Adición 5 % de Lodo Residual - Adición 12 % de Polvo de Mármol) y Dosificación 11(Adición 10 % de Lodo Residual - Adición 12 % de Polvo de Mármol), cumplieron con la resistencia mínima a compresión establecida en la NEC- SE-VIVIENDA (2 MPa). Ninguna dosificación; excepto la Dosificación 4 (Adición 5 % de Lodo Residual - Adición 3 % de Polvo de Mármol), cumplió con la NTE INEN 295 (Flexión). Solamente la Dosificación 1(Adición 5% de Lodo Residual) cumplió con la NTE INEN 296 (Absorción). En base a estos resultados, se determinó que la dosificación más eficiente que cumple con las normativas de calidad vigentes es la Dosificación 4. Esta dosificación obtuvo una resistencia a la compresión de 6.420 MPa, de esta manera cumplió con el criterio para ladrillos artesanales de la NEC-SE-VIVIENDA (2 MPa).

Se destaca una disminución en la densidad de los ladrillos con adición de lodo residual y los ladrillos con adición de lodo residual y polvo de mármol. Los ladrillos que cumplieron con la NEC-SE-VIVIENDA son aptos para su uso potencial en mampostería no estructural, muros no portantes, tabiques y paredes divisorias en edificaciones de interés social y de bajo costo. Otorgando como una ventaja su menor densidad, ya que, al ser más livianos que los ladrillos convencionales ayuda a disminuir el peso final de la estructura.

5.2 Recomendaciones

Para la cocción correcta de los ladrillos, se debe colocar las muestras sobre las hornillas de los hornos formando una fila. De esta manera se garantiza que los ladrillos se cosan mejor y de manera uniforme.

Se puede reducir el tiempo de fabricación de ladrillos, secándolos en hornos eléctricos a una temperatura entre 110 °C y 115 °C durante 48 horas. Así se reduce el tiempo de secado a 7 días.

Para el tratamiento y la adición de lodo residual, antes de la cocción, se recomienda tomar las medidas de protección necesarias, debido a que se está tratando con un material con presencia de metales pesados que pueden generar problemas si se ingieren o inhalan.

Para futuras investigaciones se propone disminuir el porcentaje de lodo residual en un rango de 0.50% a 2% en dosificación gravimétrica, el fundente se puede establecer en 3%. Además, se podría elaborar ladrillos sustituyendo el aserrín por lodo residual, ya que debido a su alto contenido orgánico podría sustituir la función del aserrín en la mezcla. También se podría medir el impacto que genera el aumento de uso de agua al elaborar ladrillos con lodo residual.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Al-Qadhi, E., Li, G., & Ni, Y. (2019). Research Article. *Hindawi*.
<https://doi.org/10.1155/2019/3710692>
- Arboleda, J., & Cardenas, D. (2022). *Caracterización de materiales para la elaboración de un mampuesto utilizando suelos finos del Ecuador, melaza y ceniza de bagazo de caña de azúcar* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/20965>
- ASTM C128. (2023). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. 04.02, 6. <https://doi.org/10.1520/C0128-15>.
- ASTM C136. (2006). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. 04.02, 6. <https://doi.org/10.1520/C0136-06>
- ASTM C20-00. (2022). Standard Test Methods for Apparent Porosity , Water Absorption , Apparent Specific Gravity , and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water. *American Society for Testing and Materials*, 15.01, 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0020-00R22>
- ASTM C40. (2011). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. 04.02, 2. <https://doi.org/10.1520/C0040>
- ASTM d4318-17e1. (2018). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. 04.08, 20. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>.
- ASTM D7348. (2021). *Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion*. 05.06(01), 1–7. <https://doi.org/10.1520/D7348-21>
- Avala, J., & López, L. (2022). *Estudio de Factibilidad del Uso de la Fibra de Coco para la Elaboración de Mampuesto*. [Universidad San Gregorio de Portoviejo].
<http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/2852/1/ARQ-C2022-001.pdf>
- Ayala, J. (2022). Materiales de construcción con materiales reciclados. *Encuentro Internacional de Educacion de Ingeniería*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.26507/paper.2299>
- Bermeo, A. M., & Idrovo, E. P. (2014). *APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN* [Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20868>
- Betancourt, D., Martirena, F., Day, R., & Diaz, Y. (2007). The influence of the addition of calcium carbonate on the energy efficiency of fired clay bricks manufacture. *Revista Ingenieria de Construccion*, 22(3), 187–196.
https://www.researchgate.net/publication/319098016_The_influence_of_the_addition_of_calcium_carbonate_on_the_energy_efficiency_of_fired_clay_bricks_manufacture
- Bubalo, A., Vouk, D., Stirmer, N., & Nad, K. (2021). Use of Sewage Sludge Ash in the Production of Innovative Bricks-An Example of a Circular Economy. *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/su13169330>
- Cachago, M., & Caguano, C. (2016). *Utilización de lodos de la planta de tratamiento de la empresa Franz Viegner F.V.-Área andina S.A. para la elaboración de ladrillos artesanales* [Univerisdad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6928/1/T-UCE-0011-221.pdf>
- Camargo, L. E., & Yambay, B. D. (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 de Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20679>

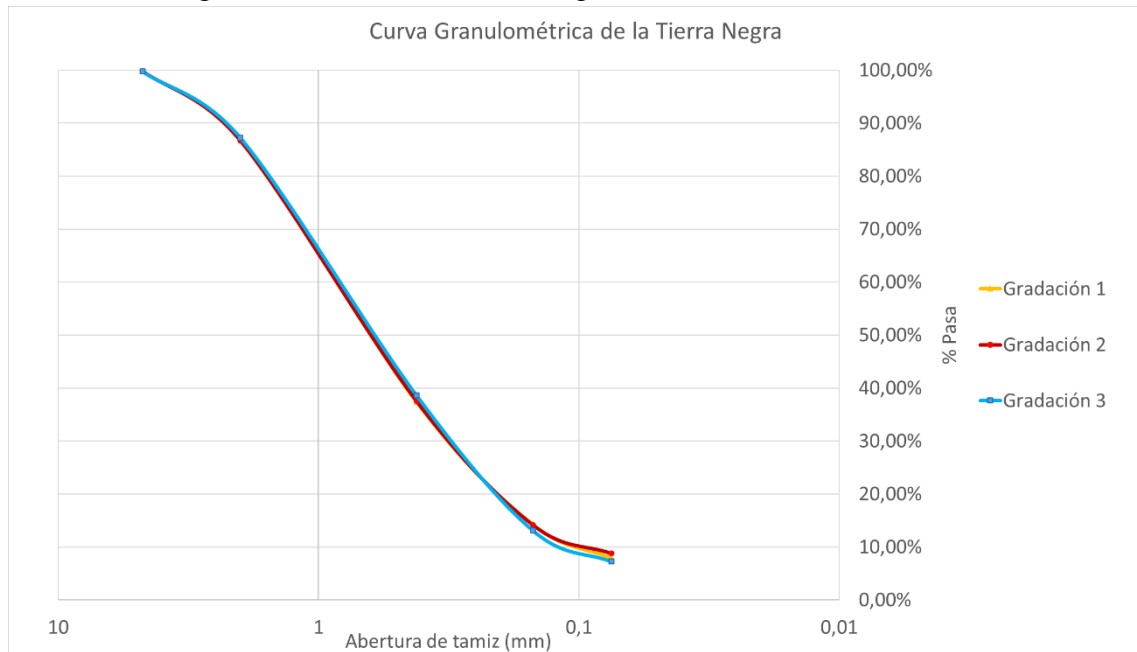
- Chamorro, L. H., Krenkel, T., & Pereira, E. (1968). Correlación entre índices de plasticidad de arcillas. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 7(0366–3175), 393–406.
- Ciancaglini, N. (2000). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. Ministerio de Economía Argentina. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.pdf
- Cruz, K. P. (2019). *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Lodos Residuales Para el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11060/1/96T00537.pdf>
- EPA, U. S. E. P. A. (1999). Biosolids Generation, Use and Disposal in the United States. Municipal and Industrial Solid Waste Division, Office of Solid Waste. *EPA*, September, 74.
- González, M. I. (2011). *Determinar Los Perfiles De Temperatura De Un Horno Para Ladrillos Del Sector Chambo* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1400>
- Granatta, H. (2010). USO DE POLVO DE GRANITO /O MÁRMOL PARA MEZCLA DE MORTEROS, HORMIGONES, PREMOLDEADOS, FABRICACION DE LADRILLOS, PLACAS PARA CONSTRUCCIONES SECAS, BALDOSAS, AZULEJOS Y CHAPAS Y/O PLACAS ARTIFICIALES DE GRANITO Y/O MÁRMOL. *OMPI*. <https://entrenamientodigital.net/usos-del-polvo-de-marmol/>
- Gualoto, J. (2016). Propuesta De Gestión De Lodos Residuales Municipales. Caso De Estudio: Planta De Tratamiento De Agua Residual De La Parroquia Rural De Nono [Escuela Politécnica Nacional]. In *Universidad Politécnica Nacional*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17066/1/CD-7650.pdf>
- Ibrahim, A. H., Bakar, Y. A., Abidin, C. Z. A., Ridwan, F. M., & Jalil, M. F. A. (2021). Physical and mechanical properties of clay sludge brick. *IOP Publishing*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012022>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. In *Introducción a La Ciencia Del Suelo*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence>
- Leblanc, R. J., Mattews, P., Richard, R. P., Leblanc, R. J., Mattews, P., & Richard, R. P. (2006). Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management. In *Proceedings of IWA Conference—Moving forward Wastewater biosolids sustainability technical managerial and public synergy June*.
- Lira, F. (2021). *Tabla ANOVA en Excel: cómo crearla e interpretarla*. Ninja Excel. <https://www.ninjaexcel.com/formulas-y-funciones-de-excel/tabla-anova/>
- Mohajerani, A., Ukwatta, A., Jeffrey-Bailey, T., Swaney, M., Ahmed, M., Rodwell, G., Bartolo, S., Eshtiaghi, N., & Setunge, S. (2019). A Proposal for Recycling the World's Unused Stockpiles of Treated Wastewater Sludge (Biosolids) in Fired-Clay Bricks. *Buildings*, 9, 14. <https://doi.org/10.3390/buildings9010014>
- Moulato, K., Ammari, M., & Ben Allal, L. (2023, June 6). Performance of sewage sludge reuse in the manufacturing of fired bricks. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(3), 477–496. <https://doi.org/10.22035/gjesm.2023.03.08>
- NEC-SE-VIVIENDA. (2015). VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5 m. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 1, 12. [71](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/12.-NEC-SE-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- VIVIENDA-parte-1.pdf
- NTE INEN 1156. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1156: 2013 Primera revisión. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1(First Edit), 17. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1156.pdf>
- NTE INEN 293. (2014). Norma técnica ecuatoriana ladrillos cerámicos definiciones, clasificación y condiciones generales. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1(Primera edición), 6. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/293.pdf>
- NTE INEN 294. (1978). Ladrillos cerámicos determinación de la resistencia a la compresión. *Normativa Técnica Ecuatoriana*. <https://ia601904.us.archive.org/21/items/ec.nte.0294.1978/ec.nte.0294.1978.pdf>
- NTE INEN 297. (1977). Nte Inen 0297: Ladrillos Ceramicos Requisitos. *Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria*, 1(Primera edición), 5. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>
- NTE INEN 3049-1. (2018). LADRILLOS CERÁMICOS. PARTE 1: TÉRMINOS Y DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS DE LAS DIMENSIONES MODULARES. *Instituto Ecuatoriano de Normalizacion*, 1, 1–11.
- NTE INEN 3049-5. (2019). Ladrillos cerámicos. Parte 5: Métodos de ensayo. *Instituto Ecuatoriano de Normalizacion*, 1–32.
- O’Kelly, B. C. (2016). Briefing: Atterberg limits and peat. *Institution of Civil Engineers*, 3(6), 359–363. <https://doi.org/10.1680/envgeo.15.00003>
- Orozco, Á. (2005). Antecedentes. In ACODAL (Ed.), *Bioingeniería de aguas residuales* (1st ed., p. 2). Acodal.
- Ruiz, A., & Velandia, G. (2011). Evaluación Del Desempeño a La Flexión Y Compresión De Mampuestos De Arcilla Con Adición De Pet Reciclado [Universidad de La Salle]. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/244/
- Salim, N. S. A., Kadir, A. A., Kamarudin, M. A., Zaidi, F. M. H., & Abdullah, M. M. A. B. (2018). Investigation on Properties and Leachability of Sewage Sludge from Wastewater Treatment Plant Incorporated in Fired Clay Brick. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/374/1/012096>
- SEMARNAT. (2003). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de La Federación*, 1–37. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). MEDIA, MEDIANA, MODA, Y OTRAS MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL. In M. Á. Toledo, R. A. del Bosque, M. I. Rocha, P. E. Roig, A. L. Delgado, Z. Garcia, & M. del C. E. Hano (Eds.), *Estadística* (4th ed., p. 61). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1476/Estadística.Serie.Schaum-MurrayR.Spiegel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Toctaquiza, O. (2008). “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DE CERÁMICA ROJA EN EL CANTÓN CHAMBO” [Escuela Superior Politecnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/240/1/96T00107.pdf>
- US EPA. (1994). A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. *Epa-832/R-93/003*, September, 175. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/plain-english-guide-part503-biosolids-rule.pdf>
- Wu, J., Yin, S.-S., Zhang, L.-D., & Song, X. (2021). Manufacture of sustainable fired shale

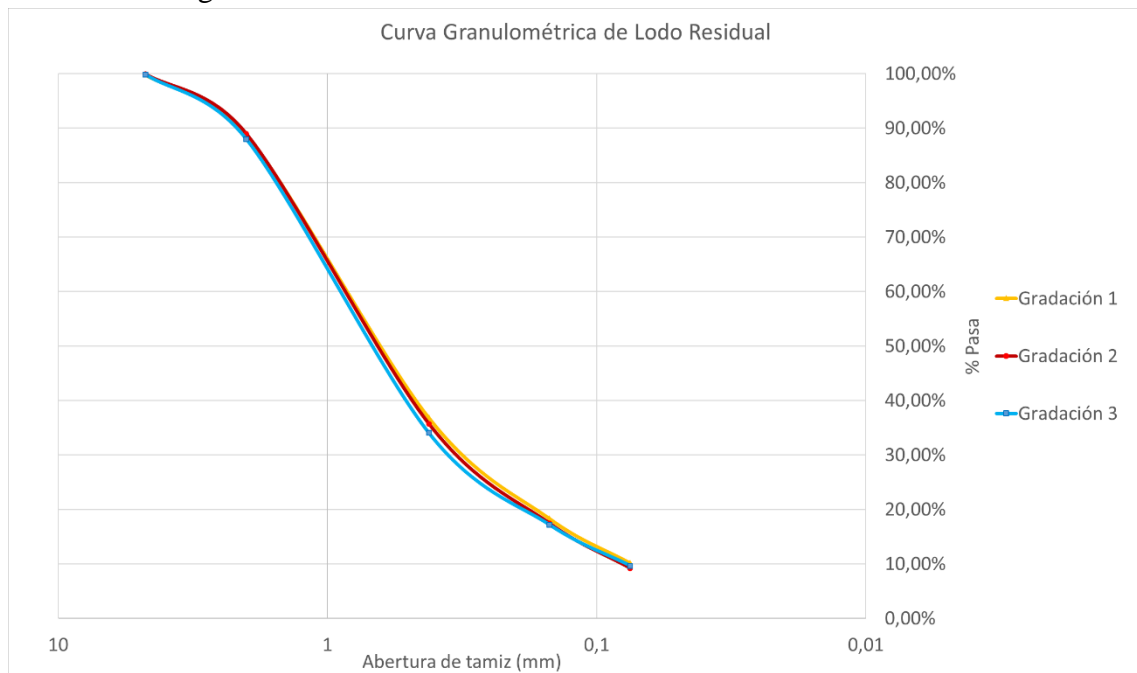
bricks using sewage sludge as raw material. *Mater. Res. Express*, 8.
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac28b5>

7. ANEXOS.

Anexo 1 Curva granulométrica de la tierra negra



Anexo 2 Curva granulométrica del lodo residual



Anexo 3 Análisis de Precios Unitarios

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 1 DE 12

RUBRO: 1

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA TRADICIONAL

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0150
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,02
<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
SUBTOTAL N					0,05
<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>	
TIERRA NEGRA	kg	4,000	0,003	0,0134	
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040	
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000	
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031	
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001	
SUBTOTAL O					0,02
<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>	
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100	
SUBTOTAL P					0,01
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0,10
INDIRECTOS (%)				0,00%	0,00
UTILIDAD (%)				0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0,10
VALOR UNITARIO					0,10

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 2 DE 12

RUBRO: 2

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 1 ADICION DE 5% DE LODO RESIDUAL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0200
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,02

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	1,00	4,05	4,05	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,800	0,003	0,0127
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m ³	0,003	0,042	0,0001
LODO RESIDUAL	kg	0,200	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,02

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,00	0,0038
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,11
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,11
VALOR UNITARIO	0,11

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 3 DE 12

RUBRO: 3

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 2 ADICION DE 20% DE LODO RESIDUAL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0200
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,02

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	1,00	4,05	4,05	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,200	0,003	0,0107
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	1,280	0,005	0,0064
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
LODO RESIDUAL	kg	0,800	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,02

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,02	0,0153
SUBTOTAL P				0,03

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,12
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,12
VALOR UNITARIO	0,12

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 4 DE 12

RUBRO: 4

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 3 ADICION DE 3% DE POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0200
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,02

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	1,00	4,05	4,05	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	4,000	0,003	0,0134
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,120	0,040	0,0048
SUBTOTAL O				0,03

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,11
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,11
VALOR UNITARIO	0,11

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 5 DE 12

RUBRO: 5

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 4 ADICION DE 5% DE LODO RESIDUAL Y 3% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,800	0,003	0,0127
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,120	0,040	0,0048
LODO RESIDUAL	kg	0,200	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,02

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,00	0,0038
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0,12
INDIRECTOS (%)	0,00%	0,00
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		0,12
VALOR UNITARIO		0,12

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES

UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 6 DE 12

RUBRO: 6

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 5 A DICION DE 10% DE LODO RESIDUAL Y 3% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,600	0,003	0,0120
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,830	0,005	0,0042
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m ³	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,120	0,040	0,0048
LODO RESIDUAL	kg	0,400	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,03

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,01	0,0076
SUBTOTAL P				0,02

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,13
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,13
VALOR UNITARIO	0,13

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES

UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 7 DE 12

RUBRO: 7

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 6 A DICION DE 15% DE LODO RESIDUAL Y 3% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,400	0,003	0,0114
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	1,060	0,005	0,0053
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,120	0,040	0,0048
LODO RESIDUAL	kg	0,600	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,03

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,01	0,0115
SUBTOTAL P				0,02

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,13
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,13
VALOR UNITARIO	0,13

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES

UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 9 DE 12

RUBRO: 9

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 8 ADICION DE 12% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	1,00	4,05	4,05	0,001	0,0041
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	4,000	0,003	0,0134
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,480	0,040	0,0192
SUBTOTAL O				0,04

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0,13
INDIRECTOS (%)	0,00%	0,00
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		0,13
VALOR UNITARIO		0,13

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 10 DE 12

RUBRO: 10

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 9 ADICION DE 3% DE LODO RESIDUAL Y 12% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0081
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,880	0,003	0,0130
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,480	0,040	0,0192
LODO RESIDUAL	kg	0,120	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,04

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,00	0,0023
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,14
INDIRECTOS (%)	0,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,14
VALOR UNITARIO	0,14

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES
UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 11 DE 12

RUBRO: 11

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 10 ADICION DE 5% DE LODO RESIDUAL Y 12% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>JORNAL/HR</i> <i>B</i>	<i>COSTO HORA</i> <i>C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO</i> <i>R</i>	<i>COSTO</i> <i>D=CxR</i>
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
AYUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0081
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>PRECIO UNIT.</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,800	0,003	0,0127
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,610	0,005	0,0031
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m ³	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,480	0,040	0,0192
LODO RESIDUAL	kg	0,200	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,04

<i>TRANSPORTE</i> <i>DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i> <i>A</i>	<i>TARIFA</i> <i>B</i>	<i>COSTO</i> <i>C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,00	0,0038
SUBTOTAL P				0,01

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0,14
INDIRECTOS (%)	0,00%	0,00
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		0,14
VALOR UNITARIO		0,14

PROYECTO: USO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO VILLA LA UNION, CANTON COLTA PARA FABRICAR LADRILLOS ARTESANALES

UBICACION: CANTON CHAMBO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 12 DE 12

RUBRO: 12

UNIDAD: U

DETALLE: DOSIFICACIÓN 11 ADICION DE 10% DE LODO RESIDUAL Y 12% POLVO DE MARMOL

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,0250
HORNO ARTESANAL	1,00	50,00	0,21	0,004	0,0008
SUBTOTAL M					0,03

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,005	0,0405
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,0122
A YUDANTE DE ALBAÑIL EO E2	2,00	4,05	8,10	0,001	0,0081
SUBTOTAL N					0,06

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
TIERRA NEGRA	kg	3,600	0,003	0,0120
ASERRIN	kg	0,050	0,080	0,0040
POLVO DE LADRILLO	kg	0,010	0,001	0,0000
AGUA	L	0,830	0,005	0,0042
MADERA PARA COMBUSTIBLE	m3	0,003	0,042	0,0001
POLVO DE MARMOL	kg	0,480	0,040	0,0192
LODO RESIDUAL	kg	0,400	0,000	0,0000
SUBTOTAL O				0,04

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
ESTIBAJE DE LADRILLO PARA COCCION	glb	1,000	0,01	0,0100
TRANSPORTE DE LODO RESIDUAL COLTA - CHAMBO	glb	1,000	0,01	0,0076
SUBTOTAL P				0,02

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,14
INDIRECTOS (%)	0,00
UTILIDAD (%)	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,14
VALOR UNITARIO	0,14

Anexo 4 Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

TABLA 1
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
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

4.7 Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 2.

TABLA 2
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helminthos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

4.8 El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 3 y su contenido de humedad hasta el 85%.

TABLA 3
APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	— Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	— Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	— Usos forestales — Mejoramientos de suelos — Usos agrícolas

4.9 La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

Anexo 5 CFR 40 PARTE 503 “Normas para el Uso o Eliminación de Lodos Residuales” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA)

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES PARA APLICACIÓN [mg/kg] en base seca	CONCENTRACIÓN MÁXIMA [mg/kg] en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Selenio	100	100
Zinc	2800	7500

Fuente: (US-EPA, 1995)