

**EVALUACIÓN DEL USO POTENCIAL DE LOS LODOS RESIDUALES
PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA PARA
ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN EL MUNICIPIO DE
SUÁREZ – CAUCA**



**YUDY ALEJANDRA GÓMEZ RUIZ
YULIETH CAROLINA URRUTIA IMBACHI**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
INVESTIGACIÓN APLICADA
POPAYÁN
NOVIEMBRE 2021**

**EVALUACIÓN DEL USO POTENCIAL DE LOS LODOS RESIDUALES
PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA PARA
ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN EL MUNICIPIO DE
SUÁREZ – CAUCA**



YUDY ALEJANDRA GÓMEZ RUIZ

YULIETH CAROLINA URRUTIA IMBACHI

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director:

Esp. Arnold Arias Hoyos

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

INVESTIGACIÓN APLICADA

POPAYÁN

NOVIEMBRE 2021

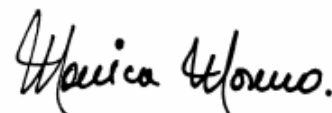
NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y evaluadores del trabajo de grado, en modalidad de investigación: **“EVALUACIÓN DEL USO POTENCIAL DE LOS LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA PARA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN EL MUNICIPIO DE SUÁREZ – CAUCA”** realizado por Yudy Alejandra Gómez Ruiz y Yulieth Carolina Urrutia Imbachi. Una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.



Director.

Esp. Arnel Arias Hoyos



Jurado.

Ph.D. Mónica Moreno Ruano



Jurado.

M.Sc. Natalia Eugenia Samboni Ruiz

Popayán, Noviembre 30 2021

Dedicatoria

A Dios por guiarme en mi camino. A mis padres por su apoyo durante esta etapa de mi vida. A mis hermanas y hermano por ser mi ejemplo de vida y superación. A mis maestros que me brindaron su conocimiento, el cual me ayudo a crecer profesionalmente.

Yulieth Carolina Urrutia Imbachi

Yo Alejandra Gómez Ruiz, dedico este proyecto primeramente a Dios que me permitió vivir y gozar de cada experiencia durante todo este trayecto siempre de su mano. A mi familia en especial a mis padres, mi esposo y a mi hijo por ser mi mayor motivación que en cada paso estuvieron siempre ahí con una palabra de aliento. A mis hermanas y hermano por ser la fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al grupo de docentes de la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca: Arnol Arias, Natalia Samboni Ruiz, Mónica Moreno Ruano y Julián Betancourt por permitirnos hacer parte del proyecto de investigación brindándonos su apoyo y conocimiento durante el desarrollo del mismo.

Al personal del laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por su tiempo y disposición durante las pruebas de ensayo; un especial agradecimiento al docente Édison Rivera de la Fundación Universitaria de Popayán quien con sus aportes realizados y al convenio con nuestra institución se pudo llevar a feliz término este proyecto.

CONTENIDO

1	CAPÍTULO I: PROBLEMA	2
1.1	Planteamiento De Problema.....	2
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Objetivo General.....	4
1.3.2	Objetivos Específicos.....	4
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES	5
2.1	Antecedentes.....	5
2.2	Marco Conceptual.....	7
2.2.1	Minería del oro.....	7
2.2.1.1	Impacto ambiental de la explotación minera de oro	8
2.2.1.2	Impacto social de la explotación minera de oro	9
2.2.1.3	Lodos mineros	10
2.2.2	Proceso de elaboración de bloque de mampostería.....	10
2.2.2.1	Unidad de mampostería	11
2.2.2.2	Ensayos de control de calidad establecidos por la normatividad colombiana	12
2.3	Marco Legal.....	12
3	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	14
3.1	Fase 1. Determinación de las Características Físicas y Químicas de los Lodos Provenientes de la Actividad Minera.....	15
3.1.1	Localización de la zona de estudio.....	15
3.1.2	Recolección de la materia prima.....	16
3.1.3	Revisión bibliográfica.....	17
3.1.4	Caracterización física de los lodos.....	17
3.1.5	Caracterización química de los lodos.....	18
3.1.6	Caracterización física de las arcillas inorgánicas.....	19
3.2	Fase 2: Preparación de la Mezcla Óptima para la Elaboración de los Bloques de Mampostería.....	19
3.2.1	Preparación de la mezcla de lodo y arcilla para la elaboración de bloques de mampostería.....	19
3.2.2	Cantidad de materiales requeridos por diseño de mezcla.....	20

3.2.3	Elaboración de bloques de mampostería	21
3.2.3.1	Modelado de bloque de mampostería	21
3.2.4	Pruebas de absorción de agua.....	24
3.2.4.1	Absorción de agua por inmersión 24 h por cada bloque de mampostería	24
3.2.4.2	Absorción de agua por ebullición 1 h por cada bloque mampostería	25
3.2.5	Prueba de resistencia mecánica a la compresión	26
3.3	FASE 3: Análisis de la Viabilidad Económica y Ambiental para la Elaboración de Bloques de Mampostería	27
3.3.1	Viabilidad económica.....	27
3.3.2	Viabilidad ambiental	27
4	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS	28
4.1	Fase 1. Determinación de las Características Físicas y Químicas de los Lodos Provenientes de la Actividad Minera.....	28
4.1.1	Caracterización física de los lodos	28
4.1.2	Caracterización química de los lodos	28
4.1.3	Caracterizaciones físicas de las arcillas inorgánicas.....	30
4.2	Fase 2. Preparación de la Mezcla Óptima para la Elaboración de los Bloques de Mampostería	31
4.2.1	Preparación de la mezcla de los lodos y arcilla para la elaboración de bloques de mampostería	31
4.2.2	Elaboración de los bloques de mampostería.....	32
4.2.3	Pruebas de absorción de agua.....	34
4.2.3.1	Absorción de agua por inmersión 24 h por cada bloque de mampostería	34
4.2.3.2	Absorción de agua por ebullición 1 h por cada bloque de mampostería	35
4.2.3.3	Pruebas de resistencia mecánica a la compresión	36
4.3	Fase 3. Análisis de la Viabilidad Económica y Ambiental para la Elaboración de Bloques de Mampostería	38
4.3.1	Viabilidad económica.....	38
4.3.2	Viabilidad ambiental	39
5	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1	Conclusiones.....	40

5.2	Recomendaciones.....	41
6	REFERENCIAS	42
	ANEXOS	46
6.1	Anexo 1. Resultados de análisis índice de plasticidad de los lodos entable Tierno.	46
6.2	Anexo 2. Resultados de análisis índice de plasticidad de los lodos entable Ronald.	47
6.3	Anexo 3. Resultados análisis de la arcilla inorgánica (AI1)	48
6.4	Anexo 4. Resultados análisis de la arcilla inorgánica (AI2)	49
6.5	Anexo 5: Resultados de resistencia a la compresión mecánica Mezcla No. 1 (Lodo:Arcilla).....	50
6.6	Anexo 6. Resultados de resistencia a la compresión mecánica Mezcla No.2 (Lodo:Arcilla:arena).....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de dimensiones modulares para bloques de mampostería.....	12
Tabla 2. Marco legal colombiano.....	13
Tabla 3. Concentraciones límites máximos permisibles de metales pesados en los lodos de acuerdo a la norma oficial mexicana: NOM-004-SEMARNAT-2002	18
Tabla 4. Parámetros establecidos en la NTC 4017 para la elaboración de ladrillo.....	20
Tabla 5. Cantidad de materiales requeridos para mezcla según diseño	20
Tabla 6. Tamizaje de lodo entable minero Ronald y Tierno	28
Tabla 7. Características químicas de los entables mineros Ronald y Tierno	29
Tabla 8. Tamizaje de arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2).....	30
Tabla 9. Índice de plasticidad de las arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2).....	31
Tabla 10. Combinación en % de Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2 según resultados de laboratorio.....	31
Tabla 11. Mezcla para la elaboración de bloques de mampostería Mezcla No.1 y Mezcla No. 2.....	32
Tabla 12. Cantidad de bloques de mampostería por cada diseño de mezcla	32
Tabla 13. Masa en g por cada bloque de mampostería después de cocción.....	34
Tabla 14. Especificaciones resistencia mecánica a la compresión NTC 4205 ..	36
Tabla 15. Prueba de resistencia mecánica para cada Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de bloques de mampostería	11
Figura 2. Diagrama de flujo metodología	14
Figura 3. Mapa ubicación geográfica del municipio de Suárez	15
Figura 4. Mapa político de Suárez - Cauca, corregimientos y veredas	16
Figura 5. Lugar de muestreo en entable minero Ronald	16
Figura 6. Muestra de lodo en tamiz de 300 micras (A) antes y (B) después de tamizaje	17
Figura 7. A) Arcilla Inorgánica 1 (AI1) y B) Arcilla Inorgánica 2 (AI2).....	19
Figura 8. Molde en madera para la elaboración de bloques de mampostería	21
Figura 9. Llenado del molde con mezcla No.1 lodo:arcilla	22
Figura 10. Pesado del bloque de mampostería húmedo preparado con mezcla No.1 lodo:arcilla.....	22
Figura 11. Bloques de mampostería secados a temperatura ambiente por 5 días y preparados con mezcla No. 1. Lodo:arcilla (A) y mezcla No. 2. Lodo:arcilla:arena (B)	23
Figura 12. Cocción de los bloques de mampostería en la mufla.....	24
Figura 13. Prueba de absorción de agua de los bloques de mampostería por 24 h a 20 °C.....	25
Figura 14. Prueba de absorción por ebullición de agua de los bloques de mampostería por 1 h a 100 °C.....	26
Figura 15. Proceso de recubrimiento de bloques de mampostería.....	26
Figura 16. Comparación pérdida de masa secado a temperatura ambiente (~25 °C)	33
Figura 17. Comparación prueba de absorción por inmersión 24 h mezcla No. 1 y mezcla No. 2.....	35
Figura 18. Comparación de absorción por ebullición 1 h mezcla No. 1 y mezcla No. 2.....	36

RESUMEN

La minería es una de las principales actividades que contribuye a la economía del país; sin embargo, la explotación minera produce cantidades considerables de sólidos que, al no tener un manejo adecuado son fuentes directas de contaminación que alteran física y químicamente las características de las fuentes hídricas cercanas al punto de extracción del mineral y como consecuencia alteran la capacidad de los procesos fotosintéticos de las plantas.

En el siguiente proyecto se planteó el uso potencial de los lodos residuales provenientes de la actividad minera aurífera en el municipio de Suárez Cauca, mediante la elaboración de bloques de mampostería y donde se determinó dos tipos de diseño así denominados: Mezcla No. 1 que corresponde al remplazo porcentual de 30/70 lodo:arcilla y la mezcla No. 2 obtenida después de combinar 30/50/20 lodo:arcilla:arena que permitió el aprovechamiento de estos.

Para cumplir el propósito del proyecto se realizaron tres fases metodológicas, iniciando con la caracterización física y química de los lodos mineros, seguido por la determinación de la mezcla óptima para la elaboración de bloques de mampostería según la Norma Técnica Colombiana - NTC 296 y NTC 4017 y, finalmente al análisis económico y ambiental donde se indicó el ahorro en cada remplazo por unidad de mampostería en el costo de un ladrillo comercial.

Los resultados de los ensayos realizados a los dos diseños de mezcla presentaron un buen desempeño en cuanto a la resistencia, alcanzado alrededor del 80 % de la resistencia establecida como criterio para mampostería no estructural según la NTC 4205-2. Además, representaron un ahorro del 30 % del total de material en costo de producción por unidad de mampostería.

Palabras clave: Bloque de mampostería, lodo residual minero, minería de oro.

ABSTRACT

The mining is one of the main activities that contribute to the country's economy; however, mining produces considerable amounts of solids that, if not properly managed, are direct sources of pollution, physically and chemically altering the characteristics of water sources near the point of mineral extraction and altering the capacity of photosynthetic processes of plants.

In the following project, the potential use of residual sludge from gold mining activities in the municipality of Suarez Cauca was proposed, through the elaboration of masonry blocks and where two types of design were determined: Mix No. 1 that corresponds to the percentage replacement of 30/70 clay mud:mixture No. 2 obtained after combining 30/50/20 mud:clay:sand that allowed the use of the these.

To fulfill the purpose of the project, three methodological phases were carried out; where the physical and chemical characteristics of the mining sludge were presented, the optimal mixture for the elaboration according to the Colombian Technical Standard NTC 296 and NTC 4017 standards and finally, the economic and environmental analysis, where the savings in each replacement per unit of masonry were determined in the cost of a commercial brick.

The results of the tests carried out on the two mix designs showed a good behavior in terms of resistance, reaching around 80% of the resistance established as criteria for non-structural masonry according to NTC 4205-2. They also represented a saving of 30% of the total material in production cost per unit of masonry.

Key words: masonry block, mining waste slurry, gold mining.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la extracción de minerales a lo largo de los años ha contribuido al crecimiento económico, provocando un incremento en la práctica de esta actividad como por ejemplo la minería de oro, siendo uno de los principales factores que genera un desarrollo socioeconómico en un país. La mayor parte de la atención en la industria de la minería se concentra en las grandes empresas; sin embargo, en muchas partes del mundo, en especial en los países en desarrollo, los minerales son extraídos por la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE) que se desarrolla en el sector informal, fuera del marco regulador y legal [1].

La actividad minera en los últimos años ha reflejado gran importancia para la economía del país. Desde el siglo XIX la minería de oro y plata fue el primer producto de exportación, para el año 2017 de acuerdo a cifras dadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, la actividad minera representó el 47,17 % del Producto Interno Bruto (PIB) [2]. Sin embargo, más allá de la importancia en la economía, los daños causados a ecosistemas y los subproductos generados durante la extracción del mineral, tienden a ser irreparables.

En el departamento del Cauca, la actividad minera se ha realizado en gran medida a través de la MAPE; sin embargo, la incorporación de sustancias químicas como el mercurio y cianuro en la extracción de oro ocasionan graves daños ambientales y a la salud humana, debido a que en muchos casos el (10 %) del mercurio agregado durante el proceso de amalgamación manual se combina con el oro, el resto (90 %) se retira para reciclarse o se libera al medio ambiente. La actividad minera genera gran cantidad de desechos tóxicos, de los cuales los residuos sólidos se consideran los más importantes en termino de volúmenes, por lo que deben ser manipulados y tratados adecuadamente desde su generación hasta su disposición, debido a la presencia de sustancias tóxicas durante el proceso de amalgamación [3].

A raíz de los impactos socioambientales ocasionados por el incremento de los residuos sólidos de los entables mineros, el proyecto de investigación busca generar alternativas que ayuden a articular no solo la disposición de los lodos sino que aporten en gran medida al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad que se dedica a la minería, mediante la evaluación de los lodos mineros provenientes de esta actividad en el municipio de Suárez – Cauca, en combinación con arcilla y arena para la elaboración de bloques de mampostería.

1 CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1 Planteamiento De Problema

En Colombia, los principales departamentos donde se desarrolla la actividad minera aurífera a pequeña escala son Antioquia, Bolívar, Caldas, Córdoba, Huila, Tolima, Cauca, Valle del Cauca, Nariño y Chocó gracias a su riqueza geográfica y geológica. Lo que conlleva al incremento de esta actividad ocasionando una alta producción de residuos sólidos mineros, que por sus características químicas y su inadecuada disposición genera afecciones irreversibles en el lugar de la extracción [4].

En el Cauca se encuentran varios entables mineros auríferos ubicados en los municipios de Timbiquí, Buenos Aires, Guapi, Suárez, Santander de Quilichao, El Tambo, Patía y López de Micay. Entre los años 2012 y 2017 la participación del Cauca en la producción de oro del país fue de 6.88 %, considerándose una cifra significativa dentro del panorama nacional [5]. Cabe destacar que mientras crecen las cifras de producción minera en estas zonas también incrementan los índices de pobreza, víctimas de desplazamiento, impactos ambientales y problemas de salud, que directa o indirectamente afecta tanto a las personas que trabajan en esta actividad, como para las que viven en zonas cercanas a la extracción del mineral.

La minería en el municipio de Suárez – Cauca, se ha venido ejerciendo por más de 400 años [6] por habitantes del municipio y población flotante, la cual se intensificó desde el siglo XX con la llegada del ferrocarril por lo que hoy en día representa el 90 % de la actividad minera a pequeña escala contribuyendo en gran medida al desarrollo económico en la región [7]. Con el crecimiento de la industria minera se introdujeron cambios en el método de extracción del mineral adoptando el proceso de amalgamación y trituración mediante quijadas y barriles amalgamadores dando participación dentro del proceso la aplicación de mercurio y cianuro que su vez quedan presentes en los diferentes residuos generados durante el beneficio de oro [8].

La contaminación por mercurio es una de los principales impactos ambientales generados por la actividad minera en el municipio de Suárez, contaminando fuentes hídricas, si bien en diferentes investigaciones se evidencia como principal afectado por la extracción de oro el recurso hídrico, es claro que el recurso suelo sufre el impacto de forma directa por la acumulación de desechos como lo son los lodos mineros y que por infiltración y escorrentía terminan contaminados cuerpos de agua [9]. En el municipio de Suárez – Cauca el beneficio de oro produce en 24 horas 18,36 m³ de lodo en un entable de 22 tambores [6], los cuales no cuentan con ningún tipo de tratamiento antes de su disposición final desconociendo los beneficios que tienen estos residuos al ser reutilizados, por lo que diferentes estudios han evaluado mediante procesos biológicos la toxicidad de los lodos en pro de incorporar este residuo al sector agrícola [10].

Teniendo en cuenta lo anterior se evaluó el uso potencial de los lodos provenientes de los entables mineros Ronal y Tierno del municipio de Suárez – Cauca como material para la fabricación de bloques de mampostería en conjunto con arcilla y arena, buscando alternativas que promuevan ya sea a pequeña o gran escala en las comunidades el desarrollo social y económico mediante la reutilización de este residuo.

1.2 Justificación

En Colombia el Código Minero, Ley 685 de 2001, en su artículo 1º establece que su objetivo consiste en fomentar la exploración estatal y privada de manera técnica, promoviendo el aprovechamiento armónico con los “principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del medio ambiente” [11], buscando sostenibilidad y fortalecimiento económico y social del país. No obstante, la explotación de oro ocasiona impactos y cambios notorios en los territorio y comunidades donde se lleva a cabo la práctica, independientemente de la manera como la desarrollen, ya sea a pequeña o gran escala si es legal o ilegal, lo cierto es que lo que menos deja en las comunidades es desarrollo social y económico [12].

Según el Censo Minero de 2011, el 72 % de las minas en el país son pequeñas y el 30 % se dedican a la extracción de oro [13]. No obstante, se debe considerar el impacto ambiental que genera dicha actividad, tomando como referente que durante la extracción del mineral, el porcentaje de material útil es menor al porcentaje de residuos estériles generados, que al ser depositados de forma inadecuada cerca de las fuentes hídricas o alrededor de los entables, generan impactos casi irreversibles en zonas con escasa presencia estatal [14], [15].

En el municipio de Suárez – Cauca, la actividad minera representa cerca del 27 % de la economía local [16]. Sin embargo, la ausencia de tecnificación y escasa asistencia técnica provoca la generación y disposición inadecuada de subproductos mineros como los lodos, por lo que surge una gran preocupación a nivel ambiental y social. Aproximadamente el 57 % de las comunidades afrodescendientes e indígenas que tradicionalmente han realizado minería artesanal en esta zona son afectadas por la exploración y explotación minera [10]. Exponiéndose de manera directa a los componentes tóxicos utilizados en la amalgamación como lo son el cianuro y mercurio, los cuales quedan presentes en los residuos sólidos que al ser depositados de manera inadecuada contaminan fuentes hídricas abastecedoras de la población, además de ocasionar pérdida de cobertura vegetal y contaminación del suelo [17]. En de departamento de Antioquia se han adelantado estudios para el aprovechamiento de los lodos producto de la minera con el fin de utilizar estos residuos en combinación con arcilla en la elaboración de ladrillos para el sector de la construcción [18].

Por esta razón, en el municipio de Suárez – Cauca se propuso la fabricación a escala piloto de bloques de mampostería reutilizando el lodo minero como material de reemplazo de arcilla para la fabricación de los bloques y a su vez generando ingresos adicionales con su venta a terceros, trayendo beneficio social y minimizando en gran medida la contaminación generada por el acumulamiento de los biosólidos producto de la extracción de oro en el municipio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el uso potencial de los lodos residuales provenientes de la actividad minera aurífera en la elaboración de bloques de mampostería en el municipio de Suárez – Cauca.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas y químicas de los lodos provenientes de la actividad minera en los entables Ronald y Tierno en el municipio de Suárez – Cauca.
- Establecer la mezcla óptima para la elaboración de bloques de mampostería según la norma NTC 296 y 4017.
- Analizar la viabilidad económica y ambiental para la elaboración de bloques de mampostería.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 Antecedentes

Los residuos originados por actividad minera a lo largo de los años han provocado altos índices de contaminación en el lugar donde se practica dicha actividad y a su vez han obligado al ser humano a contrarrestar el impacto generado en el ambiente [19], [20]. Por esta razón, se plantea la necesidad de darle un uso a los biosólidos mineros buscando su sustitución parcial como materia prima en la fabricación de ladrillos en combinación con la arcilla.

La Universidad Santo Tomás en busca de alternativas que contribuyan con la mitigación de los problemas ambientales ocasionados por las actividades mineras en Villavicencio, propuso un estudio de 4 diseños de mezcla de concreto con diferentes porcentajes de mezcla de cemento (10, 20, 30 y 50 %) por lodo residual proveniente de la minería de agregados, realizando una evaluación sobre la factibilidad técnica del uso de estos lodos como un sustituyente porcentual de la materia prima usada para la fabricación de ladrillos [21]. Cada una de las mezclas fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua a los 7, 14 y 28 días de curados con el fin de evaluar su comportamiento, demostrando la viabilidad de la reutilización de los desechos mineros frente al sector económico, ya que no solo alcanzó altos niveles de resistencia a la compresión sino que generó un ahorro del 41 % en el costo total por cada unidad de mampostería [21].

Por otra parte, un estudio realizado por la Universidad del Valle en Colombia [22] propuso la posibilidad de utilizar los lodos aluminosos generados en los procesos de tratamiento de agua potabilizada como materia prima para la fabricación de ladrillo cerámico. En los sistemas convencionales, la sedimentación produce entre el 60 y 70 % del total de los sólidos totales, dada su naturaleza física, química y microbiológica, su disposición sin tratamiento causa impactos sobre cuerpos de agua, suelos y riesgos a la salud pública. En el sector de la construcción el lodo es aprovechado en la elaboración de cemento, no obstante, el uso parcial de este residuo puede beneficiar en los costos de la elaboración convencional y aumentar la vida útil de las canteras de arcilla [22].

Por consiguiente, las características de los lodos fueron evaluados y comparados con los materiales de construcción de ladrillos en la zona de estudio (arcilla roja, negra y arena). Utilizando un análisis estadístico con un diseño de bloques aleatorio (% de arena reemplazada por lodo), elaborando 6 diseños de mezcla porcentual arena:lodo 25/0, 22,5/2, 20/5, 17,5/7,5, 15/10 y 0/25, las mezclas fueron sometidas a cocción en una mufla, incrementando parcialmente la temperatura desde los 100 °C hasta alcanzar los 700 °C y ascender directamente a los 900 °C por un periodo de 6 horas, realizando el enfriamiento inverso a la del calentamiento [22]. Posteriormente las mezclas fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua, mostrando como resultado que,

los lodos aluminosos son adecuados para la incorporación en la fabricación de ladrillos cerámicos, debido que el análisis granulométrico arrojó que los lodos están conformados por partículas sólidas y finas con tamaño reducido 55,5 % lo que indica un tamaño inferior a 0,025 mm y los ladrillos pueden contener entre 20 a 30 % de partículas con diámetro inferior a 0,002 mm. No obstante se encontró que el lodo tiene un índice de plasticidad inferior al 7 % por lo que se considera un material poco plástico pero presenta mayor similitud con la arena por lo que se considera adecuada el remplazo de la arena por este material [22].

La Corporación Autónoma del Cauca realizó un estudio a 5 entables mineros del municipio de Suarez - Cauca, en los que se determinó que la composición fisicoquímica de los lodos generados por la actividad minera está constituida principalmente por SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y MgO , siendo estos los más importantes en la evaluación de su uso como material para la elaboración de bloques cumpliendo con el porcentaje adecuado de sílice, pero obteniéndose bajos porcentajes en los otros compuestos y en su plasticidad. De esta manera se concluyó que estos lodos no pueden ser usados como materia prima principal, pero que al mezclarse con otros materiales como la arcilla se podría obtener una mezcla ideal para la fabricación de los bloques de mampostería [23].

En Envigado – Antioquia se adelantó un estudio propuesto por la Universidad EIA, en el que se planteó la adición de lodos residuales en la elaboración de matrices de cerámicas, donde se somete un análisis térmico con el fin de optimizar la calidad de las matrices cerámicas con adiciones de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales [24]. Las adiciones se realizaron en 60 matrices cerámicas para optimizar la prueba de resistencia a la compresión y absorción de agua, por lo que seleccionaron porcentajes de adición de 5, 10, 15, 20 y 30 % de lodo residual para llevarlos a una cocción de 800, 900 y 1000 °C de temperatura [24], esto con el fin de eliminar rastros de materia orgánica y obtener los análisis correspondientes de cada prueba. Los análisis arrojaron resultados favorables que fortalecen el aprovechamiento del lodo residual como adición de remplazo de arcilla para la elaboración de matrices cerámicas, ya que los remplazos presentaron resultados óptimos frente a las pruebas físico-mecánicas, cumpliendo con las normas para la fabricación de materiales cerámicos. De igual manera la reutilización de dicho residuo representa importantes beneficios ambientales por lo que sus componentes de origen orgánico resultan inactivos al momento de la cocción.

En el Perú, un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Huancavelica, propuso la reutilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable como alternativa para la sustitución del agregado fino en diferentes porcentajes [25]. La metodología empleada fue la incorporación del lodo minero en porcentajes de 25, 50, 75 y 100 % en la dosificación de la mezcla de concreto, siendo estas sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, absorción y densidad a los 28 días de curado, determinando, así como mejor desempeño la

mezcla con reemplazo del 50 % del lodo, ya que obtuvo mejor resistencia a la compresión y además cumple con los parámetros exigidos por las normas en Perú.

La Universidad de Antioquia en colaboración con la Gobernación de Antioquia, en búsqueda de respuestas a la problemática de los residuos mineros realizó un estudio a tres tipos de residuos provenientes de la explotación minera en diferentes ámbitos económicos: los residuos arcillosos producto de la explotación de carbón, colas de flotación subproducto de la concentración del material aurífero y el residuo de la capa arcillosa generado por las operaciones aluviales para el explotación de oro, con el fin de evaluar sus propiedades físicas y químicas para la fabricación de materiales de mampostería que cumplan con los requisitos establecidos bajo la norma colombiana NTC 4017 [18].

La metodología de la investigación se efectuó en 4 etapas. La primera se centró en la selección y caracterización del material minero como el de la arcilla utilizada como materia prima para la mezcla patrón; la segunda etapa se enfocó en la elaboración de cada mezcla y la sinterización a temperatura de 980 °C y determinación de las características de los prototipos como lo es la contracción post-quema y el porcentaje de humedad. En la tercera etapa se especificó el efecto de la temperatura sobre los prototipos y finalmente en la cuarta etapa se determinó la fabricación de los ladrillos con las condiciones más adecuadas empleando un aditivo pigmentante para la modificación del color [18].

La investigación concluyó con los resultados de los análisis realizados a los prototipos, encontrando la reutilización de dos de los tres residuos caracterizados viables en la elaboración de elementos de mampostería; siendo los residuos con mejor comportamiento frente a la mezcla patrón de arcilla AP, las adiciones de RC (subproducto de la explotación de carbón) y RA (residuo de aluvión) con un 60 % de reemplazo mostraron un comportamiento óptimo acercándose a las características de la mezcla patrón [18].

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Minería del oro

La minería es una actividad económica, ejercida por el ser humano con el fin de la obtención de un mineral ya sea sal, petróleo, arcilla, metales, piedras preciosas entre otros, que se ha convertido en un eje importante de trabajo para las comunidades aledañas a los yacimientos del mineral.

La minería de oro es una de las actividades con mayor acogida en Colombia, ya que, existen múltiples métodos de extracción en diferentes zonas y que en su mayoría no cuentan con los permisos requeridos para la formalización de su actividad. Dentro de estos se encuentra la licencia ambiental para el desarrollo de

la minería en su fase de exploración donde por medio del Código de Minas, Ley 685 del 2001, se obliga a la actividad a respetar la integridad cultural de las comunidades étnicas y manejar los efectos ambientales de la actividad autorizada [26]. Por otra parte, la extracción del oro puede ser ejercida con maquinaria, manualmente o con instalaciones adecuadas según el tamaño del yacimiento [27].

El término Minería Artesanal y a Pequeña Escala (MAPE) o “minería de escala artesanal”; catalogada también como minería de subsistencia, alude a la explotación de yacimientos de forma rudimentaria, realizada a través de herramientas o implementos simples de uso manual, sin utilizar técnicas como la exploración geológica o perforación profunda [7]; sin embargo, la minería artesanal también puede llevarse a cabo a mediana y gran escala, utilizando poca tecnología y maquinaria, practicada por individuos, grupos o comunidades, usualmente de manera informal (ilegal), sin el correspondiente título minero [28]. En Suárez – Cauca, por ejemplo, un alto porcentaje (57 %) de la población realizan la extracción de oro principalmente en yacimientos de oro filón mediante el uso de procesos de amalgamación y cianuración catalogándose MAPE desde hace 400 años atrás [3]. Si bien la minería artesanal en Suárez es una práctica que hace parte del legado cultural, en la actualidad la inclusión de la minería a mediana escala, ha generado cambios significativos en los subsistemas de la comunidad.

2.2.1.1 Impacto ambiental de la explotación minera de oro

La extracción de oro es llevada a cabo de forma expansiva, lo que conlleva la modificación del paisaje, alterando parcial o por completo el medio ambiente donde se realiza la actividad. Esta alteración por lo general tiene efectos adversos no beneficiosos al ambiente lo que se conoce como impacto ambiental. El impacto ambiental está directamente relacionado con el hombre, puesto que son las actividades humanas las que conllevan aun problema ambiental que provoca deterioro del ecosistema y afecciones a la salud pública, que puede llegar hacer reversible o irreversible [29].

En el municipio de Suárez – Cauca, se han desarrollados diferentes estudios donde se evidencian impactos socioambientales a causa de la extracción minera. Uno de ellos se llevó a cabo en el corregimiento de Mindalá específicamente en las veredas Tamboral y la Turbina, el cual tuvo como objetivo evaluar un sistema de manejo para lodos de dique de colas provenientes de la minería de oro, teniendo en cuenta que por la práctica de esta actividad se generan residuos con altas concentraciones de mercurio filtrándose a suelos y fuentes hídricas [3]. Por otro lado, dentro del mismo municipio se desarrolló un estudio para realizar la evaluación de impactos ambientales en cinco Bocaminas pertenecientes al área de reserva minera con el fin de mitigar las afectaciones por uso de mercurio en los entables mineros, dentro de los cuales se generan impactos negativos que afectan componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos del lugar [3], [30]. De igual manera se tienen estudios

realizados en esta zona donde se procura evaluar posibles alternativas para la reutilización de los desechos provenientes del beneficio de oro en este caso lodo minero que en combinación con otras sustancias como lo son el mercurio y el cianuro son altamente tóxicas y al no tener un manejo adecuado pueden generar afectaciones al personal que ejerce esta labor así mismo al ambiente y comunidades aledañas a los entables [6].

2.2.1.2 Impacto social de la explotación minera de oro

Este tipo de impacto se refiere a los efectos provocados a personas o comunidad como resultado de una acción, actividad, proyecto o política; sin embargo, el impacto ocasionado por cualquiera de las anteriores puede ser negativo o positivo, con una duración en tiempo y espacio; (corto, mediano, o largo plazo; puntual, local, regional o internacional) [31].

Los efectos de un impacto social no son iguales para una comunidad debido a que en gran medida la gravedad del impacto dependerá de las características propias de cada lugar, como lo son la economía y cultura. La explotación minera en su mayoría ocasiona impactos negativos frente a la población expuesta a la actividad, por lo que se considera una destrucción de las formas de sustento de vida de las comunidades, desigualdad social, cambios radicales a las culturas, desplazamiento tanto de la comunidad como de las actividades económicas locales [32]. Por otra parte, la extracción de oro contribuye al desarrollo macroeconómico del país lo que se entiende como aspecto positivo del sector minero, contribuyendo a recursos que invertidos correctamente generan beneficios para la sociedad [15].

Es claro que la minería ayuda en gran medida en el crecimiento económico del país; sin embargo, uno de los principales inconvenientes sociales frente a la extracción de oro en una región, es la minería desarrollada de manera ilegal, puesto que las condiciones laborales no son las adecuadas. Por ejemplo dentro de la minería artesanal es común ver la participación de mujeres y niños sin las condiciones de seguridad minera correspondiente poniendo en riesgo su salud por inhalación de sustancias tóxicas como el mercurio y cianuro [10].

Por otra parte, el municipio de Suárez – Cauca, representa el 90 % de ilegalidad en cuanto a la minería en pequeña escala, mostrando poco interés en los esfuerzos por legalizar la pequeña minería que a su vez contribuye a la presencia de actores ilegales realizando la extracción de oro mediante maquinaria pesada en contra de los métodos artesanales que han venido utilizando la comunidad negra. Las comunidades indígenas también se han visto afectadas por la actividad minera perdiendo su autonomía y control territorial por lo que se oponen a la minería dentro de su territorio [26].

A raíz de la problemática social vivida en el municipio de Suárez por la actividad minera ilegal, la Fundación Alianza por la Minería Responsable buscó promover en el municipio un diálogo constructivo entre los mineros y mineras de subsistencia y pequeña minería en el corregimiento de Mindalá, proponiendo un programa piloto denominado “Laboratorios de la MAPE Responsable, del dialogo a la acción”, en alianza con la Alcaldía de Suárez, la Gobernación del Cauca y algunos consejos comunitarios para la implementación de buenas prácticas mineras y conexión con mercados de oro formales. Un proyecto incluyente donde oportunidad a las mujeres seleccionadoras de mineral a mejorar su calidad de vida y la de sus familias apuntando a un desarrollo responsable dentro del territorio [33], [34].

2.2.1.3 Lodos mineros

Los biosólidos mineros comúnmente llamados lodos son producto de la extracción de minerales mediante perforación y tratamiento del material extraído, por lo que se pueden encontrar de forma sólida u acuosa [35]. La caracterización química de estos lodos mineros evidencia la presencia de los siguientes compuestos inorgánicos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO , destacando también su contenido de mercurio y cianuro, el cual, se utiliza durante el proceso de extracción del oro en los entables mineros. Sin embargo, sus características dependerán de la geología del suelo donde se realiza la actividad [36]. La mayoría de los entables mineros ubicados en el departamento del Cauca presentan altos porcentajes de SiO_2 entre 48,34 y 68,9 %, Al_2O_3 entre el 7,0 y 9,54 %, FeO_3 con un 7,17 y 11,51 % y por último MgO con un 1,84 y 2,2 %.

La reutilización de los lodos mineros depende de sus características físicas y químicas, las cuales deben estar dentro de los parámetros establecidos. Como se mencionó en el apartado de antecedentes, las principales aplicaciones de lodos como subproductos de la actividad minera están relacionados dentro del sector de la construcción en la elaboración de bloques de mampostería en combinación de arcilla como también en la producción de adoquines y morteros reemplazando lodo por cemento [21],[22]. A partir de la anterior revisión bibliográfica en donde se evidencia el aprovechamiento de este tipo de lodos, en esta investigación se plantea elaborar bloques de mampostería utilizando como materia prima lodos residuales acumulados en dos estables mineros en el municipio de Suárez – Cauca.

2.2.2 Proceso de elaboración de bloque de mampostería

La elaboración de los bloques de mampostería será llevada a cabo mediante tres etapas teniendo como **primer etapa** la selección y tamizado del material a utilizar, con el fin de realizar el diseño de mezcla para la elaboración de los bloques; en la **segunda etapa** se realizará la homogenización de la mezcla para su posterior

amasado y moldeado; finalmente se culminara el proceso de elaboración con el secado de los bloques a temperatura ambiente para su debido proceso de cocción el cual tendrá lugar en la **tercer etapa**.

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de bloques de mampostería.

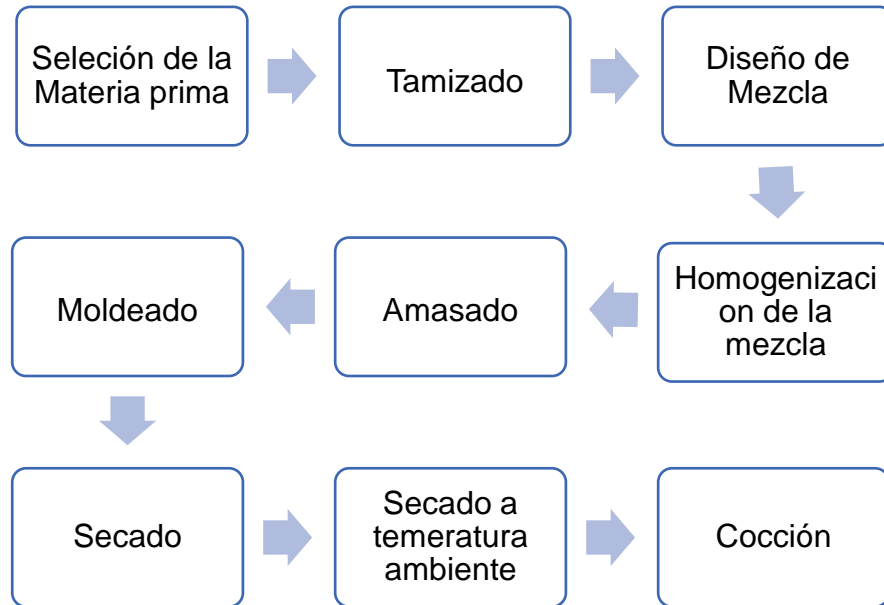


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de bloques de mampostería
Fuente: Propia

2.2.2.1 Unidad de mampostería

Unidad estructural diseñada para ser utilizadas en construcciones de tipo estructural, su calidad depende del tipo de material utilizado dentro de los que se encuentran arcilla, hormigón, barro, piedra y vidrio, entre otros. Por el contrario, una unidad de mampostería no estructural, solo será utilizada para la elaboración de muros que pueda soportar cargas debidas a su propio peso [37], [38].

La arcilla es un material que por su alta plasticidad es utilizado en la elaboración de piezas cerámicas, es un mineral compuesto principalmente de silicatos hidratados de alúmina, producto de la descomposición de rocas silicosas y aluminosas [39], [40]. Por tal razón las arcillas más utilizadas en la elaboración de bloques de mampostería son las arcillas secundarias o de sedimentación, ya que tiene partículas de menor tamaño lo que le permite tener mayor plasticidad al entrar en contacto con agua generando mejor compactación y de igual manera proporciona efectividad al momento de ser mezcladas con otro material y su

porcentaje dependerá de las características químicas y físicas que posea el material secundario con el cual serán mezcladas [41].

Las dimensiones modulares de los bloques de mampostería se ajustan a las medidas que se establecen en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 296; sin embargo, las unidades de mampostería de arcilla cocida no deben cumplir con medidas modulares, por lo que el fabricante debe considerar el requisito establecido por la NTC 296 [37], [42]. Para su efecto las dimensiones adoptadas se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplos de dimensiones modulares para bloques de mampostería

Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones reales (mm)		
Longitud	Ancho	Altura	Longitud	Ancho	Altura
240	120	60	230	110	50
260	130	65	250	120	55
300	150	75	290	140	65
400	200	100	390	190	90

Fuente: [42]

2.2.2.2 Ensayos de control de calidad establecidos por la normatividad colombiana

Resistencia a la compresión: Ensayo que se realiza para verificaciones de resistencia y control de calidad establecidos por la normatividad colombiana. Su procedimiento consiste en la aplicación de fuerza sobre el área neta de una unidad de mampostería o ladrillo macizo para medir la capacidad de soportar una carga por unidad de área expresada en kg f/cm² (MPa) [38], [43].

Porcentaje de absorción: Ensayo que se le realiza a unidades de mampostería o ladrillos macizo para determinar la saturación de agua que este pueda adquirir durante su vida útil. Para ello se realizan dos pruebas; absorción por inmersión 24 h y la prueba de absorción por ebullición 1 h. El porcentaje de absorción también es importante para determinar si la temperatura y tiempo de cocción al cual es sometido cada unidad es el suficiente o no [37].

2.3 Marco Legal

La tabla 2 describe la normatividad colombiana que se utilizó como apoyo para el desarrollo del proyecto de investigación.

Tabla 2. Marco legal colombiano

Normatividad	Descripción
Norma Técnica Colombiana NTC 4017	Hace referencia a las propiedades físicas que se deben evaluar en un ladrillo de arcilla cosida, incluidas la tejas, los adoquines y los bloquelones. La norma incluye los ensayos de módulo de rotura, resistencia, absorción de agua, coeficiente de saturación entre otros [41].
Norma Técnica Colombiana NTC 4205	Hace referencia a los ladrillos empleados para la construcción de muros no estructurales, “unidades de mampostería de uso interior y de uso exterior (o de fachada)” y “mampostería no estructural”. Igualmente hace referencia a tres tipos de ladrillo, según la presencia, dimensión y el sentido de sus perforaciones [37].
Norma Técnica Colombiana NTC 4630	Por la cual se determina el método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos [44].
Norma Técnica Colombiana NTC 296	Especifica las medidas de las unidades de mampostería elaboradas de suelos arcillas y no arcillosos con la combinación de diferentes suelos los cuales son mezclados para alcanzar las mezclas óptimas que piden la norma en resistencia y tamaño, pero también las medidas del bloque de mampostería pueden variar según las necesidades del constructor, siempre y cuando se cumplan los estándares de calidad [42].
Código Minero 685 de 2001	Tiene como principal objetivo promover la exploración y explotación de los recursos de propiedad del estado o privado, vigilando y supervisando que cada una de las operaciones de extracción de minerales se hagan cumpliendo la normatividad y se acojan a cada una de las normas que pide el estado en sus leyes, para que la exploración y explotación de los recursos se hagan de la forma correcta y sin afectar el medio ambiente [11].
Resolución 631 del 2015	Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones [45].
Norma Oficial Mexicana NOM-004-semarnat-2002.	Por la cual se establecen las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final [46].

Fuente. Propia

3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Para dar al cumplimiento de los objetivos planteados en la evaluación del uso de los lodos residuales mineros producto de la extracción minera aurífera en el municipio de Suarez – Cauca, se estableció la siguiente metodología confinada en la figura 2.

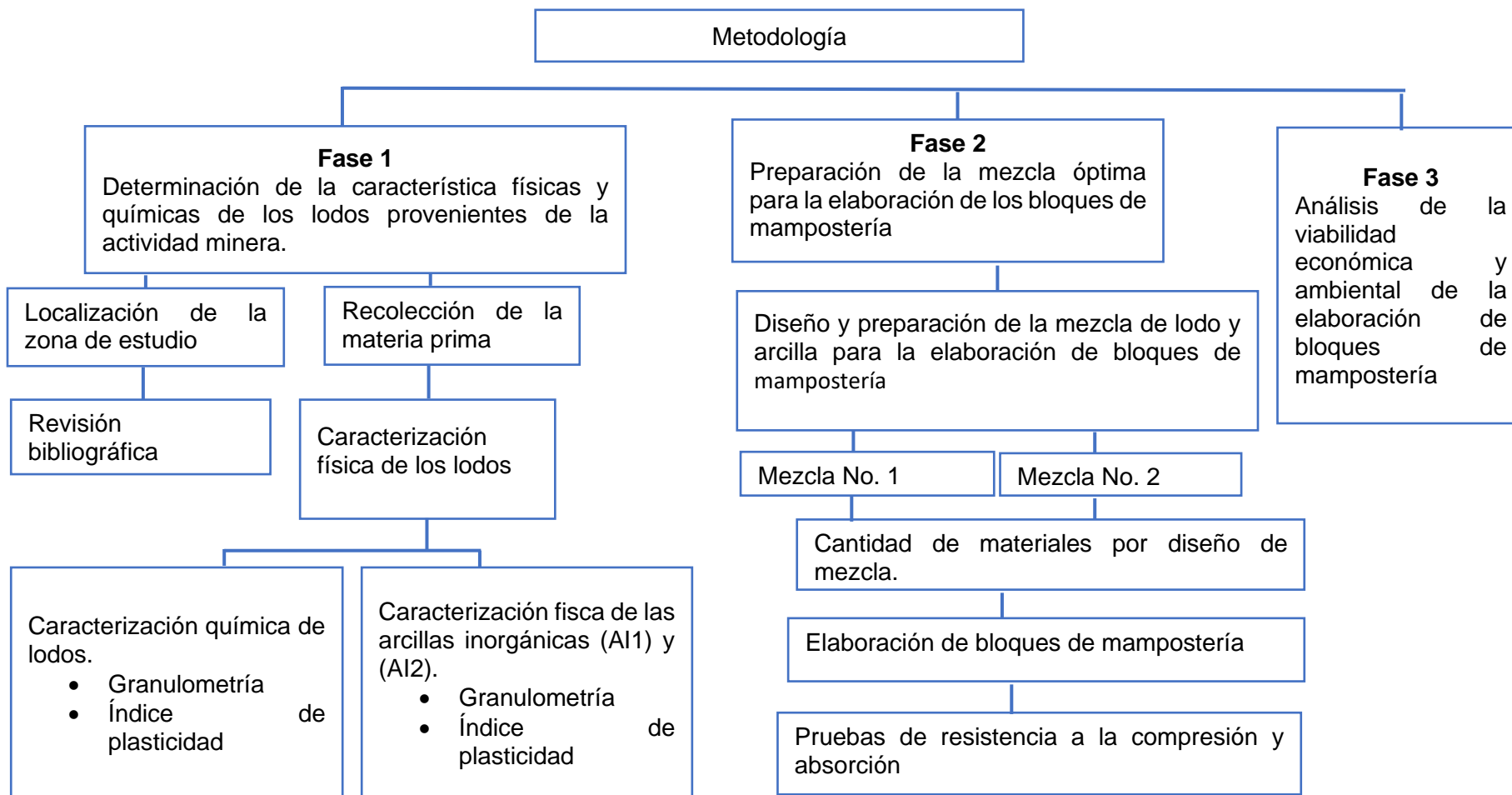


Figura 2. Diagrama de flujo metodología

Fuente: Propia

3.1 Fase 1. Determinación de las Características Físicas y Químicas de los Lodos Provenientes de la Actividad Minera

3.1.1 Localización de la zona de estudio

El Municipio de Suárez – Cauca está ubicado al noroccidente del Departamento del Cauca, con una extensión de 389, 87 km², de la cual el área urbana representa 3,57 km² y el área rural 386,30 km². El municipio limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al suroriente y sur con Morales y al occidente con López de Micay [47]. La figura 3 muestra la localización del municipio de Suarez – Cauca.

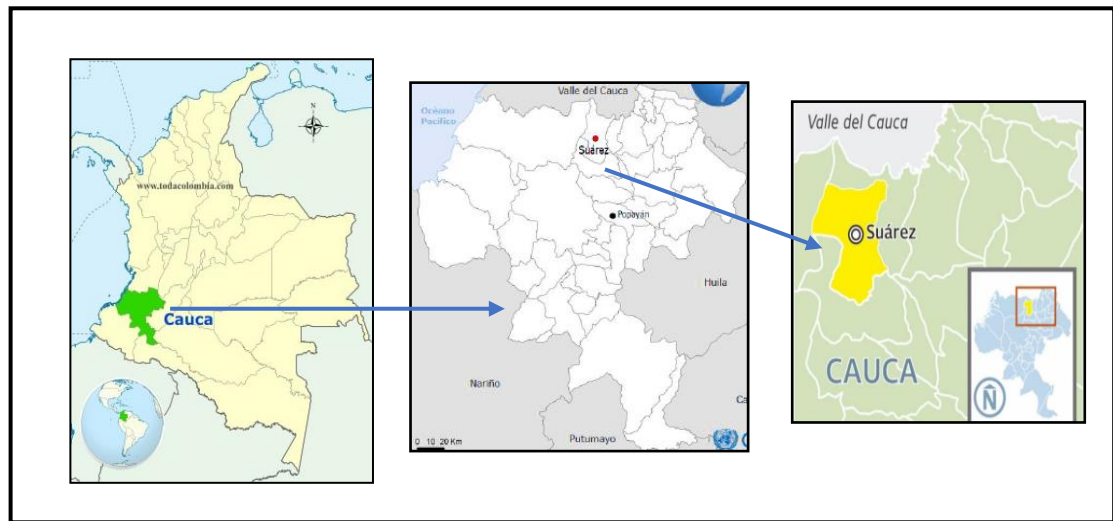


Figura 3. Mapa ubicación geográfica del municipio de Suárez
Fuente: [34]

Suárez se ha caracterizado por ser un municipio agro-minero por lo que se encuentra inmerso en constantes disputas por mutilaciones y nativos de la misma comunidad. Las zonas más representativas de explotación de yacimientos de oro filón se encuentran en los corregimientos de la Toma y Mindalá, siendo esta la principal fuente de explotación. La figura 4 muestra el mapa político del municipio de Suárez – Cauca y la ubicación de los corregimientos.

Con base en el macroproyecto denominado “Análisis del uso potencial de los lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producidos en el beneficio de oro en el municipio de Suárez, Cauca” se extrajo información de los entables mineros Ronald y Tierno pertenecientes al corregimiento de Mindalá para el estudio del uso potencial de los lodos en la elaboración de bloques de mampostería [48].



Figura 4. Mapa político de Suárez - Cauca, corregimientos y veredas
Fuente: [6]

3.1.2 Recolección de la materia prima

Los lodos mineros se recolectaron de manera previa por el personal de docentes que hacen parte del macroproyecto, las cuales se recogieron antes de la situación actual (pandemia). Este muestreo que se realizó de manera aleatoria en diferentes puntos, las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas de 20 x 30 cm con capacidad de un 1 kg, esto para evitar contaminación externa y ser transportadas al Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca de la ciudad de Popayán. Las muestras utilizadas para la realización del proyecto de investigación fueron tomadas en los entables mineros Ronald y Tierno, ubicados en el municipio de Suárez – Cauca, dedicados a la extracción de oro de forma artesanal y principalmente en los yacimientos de oro filón practica que se ha venido realizando por habitantes de la comunidad por más de 400 años. En la figura 5 se muestra el entable minero Ronald.



Figura 5. Lugar de muestreo en entable minero Ronald
Fuente: Propia

3.1.3 Revisión bibliográfica

Se revisó consultas en las plataformas EBSCO y SCIELO sobre informes académicos y artículos relacionados con el uso de lodos, ayudando a esclarecer el uso potencial de lodos mineros y sus características fisicoquímicas para el aprovechamiento en la elaboración de bloques de mampostería.

3.1.4 Caracterización física de los lodos

Para la caracterización física de los lodos se realizaron las pruebas de granulometría e índice de plasticidad según la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 y NTC 4630, respectivamente [43], [44].

Granulometría de lodos: Este proceso se realizó con el fin de determinar el tamaño de las partículas de lodo a utilizar de acuerdo con la NTC 4017 [43]. Esta prueba se llevó a cabo en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Todo el material muestreado fue tamizado de manera manual utilizando dos tamices de 300 y 150 micras como se exhibe en la figura 6.

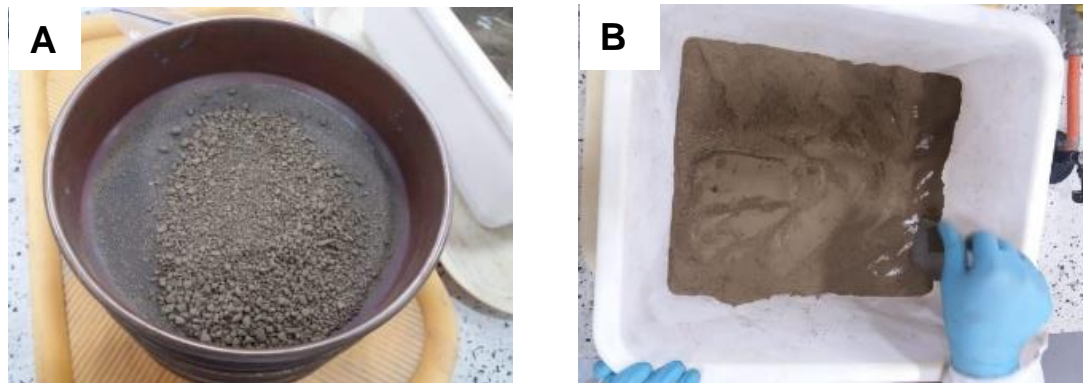


Figura 6. Muestra de lodo en tamiz de 300 micras (A) antes y (B) después de tamizaje

Fuente: Propia

Plasticidad de lodos: Para la determinación del límite líquido y plástico, 500 g de muestra fueron enviados previamente tamizadas y empacadas en bolsas herméticas al laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos GEOFÍSICA S.A.S., ubicado en la ciudad de Popayán, donde se realizaron las pruebas bajo la norma NTC 4630 siguiendo el método multipunto [44] (**Anexos 1 y 2**).

3.1.5 Caracterización química de los lodos

Los análisis de la caracterización química de los lodos provenientes de la actividad minera aurífera se realizaron para su posible uso en el sector de la construcción en la fabricación de ladrillos. Las técnicas analíticas aplicadas fueron mediante espectrometría de absorción atómica (EAA) realizadas en el laboratorio químico de la Universidad Pontificia Bolivariana y en el laboratorio de la universidad del Valle el método utilizado el de Fluorescencia de Rayos X (FRX), el cual dio a conocer los óxidos presentes junto con sus porcentajes, datos que exige la normatividad colombiana [49]. información recopilada del informe técnico del macro proyecto [49].

En cuanto a la determinación de los componentes tóxicos presentes en las muestras de lodos se realizó siguiendo el método EPA 1311 (o protocolo 0062 del 2007 del IDEAM – numeral 6.1), el cual permitió evaluar el comportamiento de especies tóxicas presentes en los lodos como lo es el arsénico, bario, cadmio, mercurio, cromo, plata, plomo y selenio. Sin embargo, en Colombia no existen normativas que establezcan los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en lodos y biosólidos por lo tanto se debe atender a estándares internacionales que ayuden a mitigar esta problemática nacional, como por ejemplo la Norma Oficial Mexicana NOM004-SEMANAT-2002 [46]. Los límites máximos permisibles de metales pesados en lodos y biosólidos de acuerdo a la norma oficial mexicana se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones límites máximos permisibles de metales pesados en los lodos de acuerdo a la norma oficial mexicana: NOM-004-SEMARNAT-2002

Metales	Excelentes (mg/kg en base seca)	Buenos (mg/kg en base seca)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: [46]

Teniendo en cuenta que a nivel nacional los lodos mineros no son utilizados como materia prima para otras actividades y que no hay legislación asociada a su composición físico química es pertinente, para la elaboración de elementos de mampostería hacer un uso y acogerse a estándares internacionales como el mencionado en la tabla 3, ya que dichos metales traen consecuencias para la salud humana y ambiental.

3.1.6 Caracterización física de las arcillas inorgánicas

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó dos tipos de arcilla: Arcilla Inorgánica 1 (AI1), caracterizada por presentar un color rojizo y a su vez una textura suave al momento de triturado mediante el método de mortero. Por otra parte, la Arcilla Inorgánica 2 (AI2) se caracterizó por ser un material con una textura más compacta, color oscuro y difícil de triturar mediante el mortero. La figura 7 muestra imágenes de las arcillas usadas en esta investigación.



Figura 7. A) Arcilla Inorgánica 1 (AI1) y B) Arcilla Inorgánica 2 (AI2)

Fuente: Propia

Granulometría de arcillas: La granulometría de las arcillas se realizó mediante el método de tamizaje (150 micras) con el fin de tecnificar el proceso y determinar el tamaño de partícula de arcilla. También permitió remover partículas de mayor tamaño como residuo de roca y material vegetal entre otros, para garantizar una mezcla homogénea y de fácil manipulación.

Índice de plasticidad de arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2): Para el análisis de índice de plasticidad, 500 g aproximadamente de cada muestra previamente tamizadas y empacadas en bolsas herméticas fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos GEOFÍSICA S.A.S., de acuerdo a la NTC 4630 [44] siguiendo el método multipunto (**Anexos 3 y 4**).

3.2 Fase 2: Preparación de la Mezcla Óptima para la Elaboración de los Bloques de Mampostería

3.2.1 Preparación de la mezcla de lodo y arcilla para la elaboración de bloques de mampostería

Para la determinación de la mezcla lodo:arcilla inorgánica, fue necesario realizar un diseño experimental teniendo en cuenta los resultados de las características

físicas y químicas de lodos y arcillas obtenidos en la primera fase del proyecto. De esta manera se obtuvieron los porcentajes adecuados siguiendo los parámetros y lineamientos establecidos en la NTC 4017 para así garantizar la eficiencia de la mezcla. A continuación, en la tabla 4 se muestran los parámetros exigidos en la NTC 4017 [43] para la elaboración de ladrillos.

Tabla 4. Parámetros establecidos en la NTC 4017 para la elaboración de ladrillo

Parámetros	Ladrillo
SiO ₂	50 % - 60 %
Al ₂ O ₃	20 % - 30 %
Fe ₂ O ₃	3,0 % - 6,1 %
MgO	8 %
Plasticidad	10 % - 30 %
Análisis Térmico	950 °C

Fuente: [43]

Cabe resaltar que la tabla de diseño se elaboró tomando como base de cálculo 1 kg de mezcla total haciendo reemplazos de 1 a 99 %, de los cuales se determinó trabajar con un reemplazo porcentual del 30/70 % de lodo:arcilla. En búsqueda de una mejor eficiencia del producto final, se decidió preparar una segunda mezcla modificando el porcentaje de arcilla para agregar 20 % de arena, conservando el mismo reemplazo de lodo en ambas mezclas quedando los porcentajes de la siguiente manera:

- **Diseño Mezcla No. 1:** lodo:arcilla en % 30/70
- **Diseño Mezcla No.2:** lodo:arcilla:arena en % 30/50/20

3.2.2 Cantidad de materiales requeridos por diseño de mezcla

La cantidad de material utilizado para la elaboración de los bloques de mampostería se determinó de los porcentajes de cada mezcla estipulada en el capítulo anterior. Las cantidades absolutas de los dos diseños se muestran en la tabla 5. Cabe mencionar que para el segundo diseño 30/50/20, la cantidad de arena de la mezcla se ajustó con la cantidad de arcilla para un total de 500 g de mezcla.

Tabla 5. Cantidad de materiales requeridos para mezcla según diseño

Material	Total, mezcla 500 g	
	Mezcla No. 1. Lodo:arcilla	Mezcla No. 2. Lodo:arcilla:arena
Lodo	150 g	150 g
Arcilla	350 g	250 g
Arena	-	100 g
Agua	300 mL	300 mL

Nota: La cantidad total para cada una de la mezcla está dada para la elaboración de 3 bloques de mampostería con dimensiones en centímetros (cm) para alto, ancho y largo de (3,5 x 4,0 x 7,0).

Fuente: Propia

3.2.3 Elaboración de bloques de mampostería

La elaboración de los bloques de mampostería se realizó de forma manual en el Laboratorio de Ciencias Ambientales de Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Se utilizaron implementos disponibles como: mufla (Thermo Scientific), vasos de precipitado, planchas de agitación magnética (Velp Científica), pinzas y termómetro, entre otros. A continuación, se describen las diferentes etapas para la elaboración de los bloques de mampostería.

3.2.3.1 Modelado de bloque de mampostería

El molde utilizado para elaboración de los bloques fue hecho en madera y su tamaño dependió del tamaño de la mufla, por lo que sus medidas fueron de 3,5 cm de alto por 4,0 cm de ancho y 21 cm de largo. La figura 8 muestra el molde de madera que cuenta con tres compartimientos para obtener tres bloques con las siguientes medidas: 3,5 cm de alto x 4,0 cm de ancho x 7,0 cm de largo.

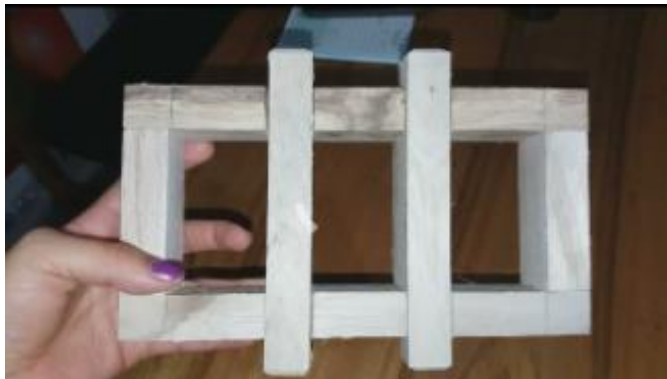


Figura 8. Molde en madera para la elaboración de bloques de mampostería

Fuente: Propia

El proceso de elaboración de bloques de mampostería de ambas mezclas se llevó a cabo en cinco etapas como se describe detalladamente a continuación: **Etapas 1.** Masa de material a utilizar, **Etapas 2.** Elaboración de bloque, **Etapas 3.** Pesaje del bloque, **Etapas 4.** Secado del bloque y **Etapas 5.** Cocción del bloque.

Etapas 1. Masa de material a utilizar: Para la preparación de las mezclas se tuvieron en cuenta los valores mencionados anteriormente en la tabla 5 mostrando la cantidad de material para cada una obteniendo de esta manera una mezcla homogénea y de fácil manipulación.

Etapa 2. Elaboración del bloque de mampostería: Una vez lista las 2 mezclas, cada molde se colocó sobre una superficie lisa y de forma manual se adicionó la mezcla dentro del molde ejerciendo presión para compactar el material y evitar la generación de burbujas de aire. Finalmente, con ayuda de una espátula se eliminó el exceso de mezcla y se retiró el molde, obteniendo así tres ejemplares de cada diseño. La figura 9 presenta una imagen de llenado del molde de madera con la mezcla húmeda y fresca.

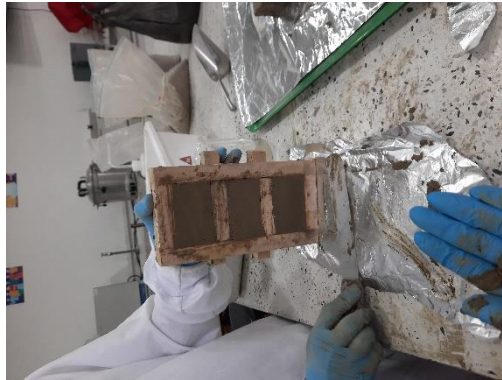


Figura 9. Llenado del molde con mezcla No.1 lodo:arcilla
Fuente: Propia

Etapa 3. Masa del bloque de mampostería: Para obtener la masa del bloque se utilizó una balanza analítica con capacidad máxima de 1 kg. Se procedió a desmoldar para tomar la masa de cada uno los bloques húmedos con el fin de llevar un registro y de esta manera obtener datos para las posteriores pruebas (cocción y absorción). La figura 10 muestra una imagen del pesaje del bloque húmedo preparado con mezcla.



Figura 10. Pesado del bloque de mampostería húmedo preparado con mezcla No.1 lodo: arcilla
Fuente: Propia

Etapa 4. Secado de bloque de mampostería: Este proceso se realizó con el fin de eliminar el exceso de agua en cada bloque de mampostería. Los bloques se dejaron expuestos al sol y secados de manera natural a temperatura ambiente (aproximadamente a 25 °C) durante 5 días, haciendo más fácil su manipulación para finalmente llevar a cabo su cocción. Algunos ejemplares de los bloques de mampostería preparados con mezclas 1 y 2 antes y después del secado se observan en la siguiente figura.

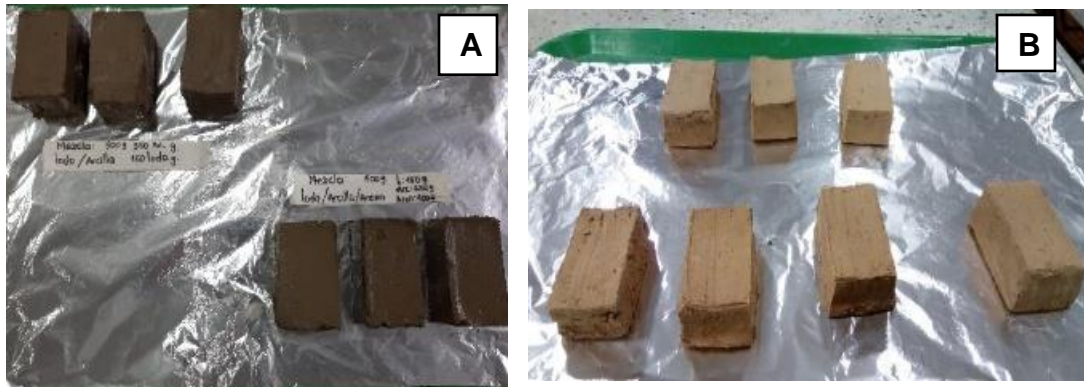


Figura 11. Bloques de mampostería secados a temperatura ambiente por 5 días y preparados con mezcla No. 1. Lodo:arcilla (A) y mezcla No. 2. Lodo:arcilla:arena (B)

Fuente: Propia

Etapa 5. Cocción de bloque de mampostería: En el proceso de cocción de los bloques de mampostería, primero se realizó el precalentamiento en la mufla a 100 °C para eliminar el agua aún contenida en el bloque; luego se incrementó la temperatura hasta 900 – 950 °C, para alcanzar la maduración del bloque y eliminar completamente el agua del producto final; por último, se procedió a la etapa de enfriamiento, donde se dejó la pieza a temperatura ambiente (aproximadamente 21 °C). Para la etapa de enfriamiento se tuvo en cuenta el tiempo por lo que se dejaron las muestras en la mufla apagada por 12 horas para así garantizar una mayor resistencia de los bloques. La figura 12 muestra los bloques de mampostería durante su proceso de cocción en la mufla.



Figura 12. Cocción de los bloques de mampostería en la mufla
Fuente: Propia

3.2.4 Pruebas de absorción de agua

3.2.4.1 Absorción de agua por inmersión 24 h por cada bloque de mampostería

Este procedimiento se realizó una vez las unidades de mampostería ya estaban secas y frías, por lo que se procedió a pesar nuevamente cada bloque en una balanza analítica para conocer la pérdida de masa después de la cocción. Después de pesados, con ayuda de pinzas los bloques fueron sumergidos en 600 mL de agua destilada contenidos en un beaker de 100 mL a temperatura ambiente (20 °C) durante 24 horas. Pasado ese tiempo, los bloques se extrajeron del beaker con las pinzas, el exceso de agua se secó con una toalla absorbente y los bloques se pesaron nuevamente. Con la ecuación 1 se calculó el porcentaje (%) de absorción por inmersión. La figura 13 presenta imágenes de la prueba de inmersión de los bloques de mampostería en agua por 24 h a temperatura ambiente.

Ecuación 1. Absorción de agua de los bloques en 24 h de inmersión a temperatura ambiente:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 * (W_{sss} - W_s)}{W_s}$$

W_s = masa espécimen antes de la inmersión (g)

W_{sss} = masa espécimen saturado superficialmente seco (g)



Figura 13. Prueba de absorción de agua de los bloques de mampostería por 24 h a 20 °C

Fuente: Propia

3.2.4.2 Absorción de agua por ebullición 1h por cada bloque mampostería

Esta etapa se realizó con los bloques empleados para la prueba anterior, por lo que se utilizaron con la misma saturación con la que salieron de la prueba de absorción por inmersión a temperatura ambiente; dicha relación se debe a que el porcentaje de absorción es la diferencia de la prueba de absorción fría y caliente. Con el fin de evitar la rehidratación de la arcilla cuando la pieza este expuesta a la intemperie, se utilizó un beaker de 1000 mL y en el fondo se le colocó un soporte de aluminio para evitar el contacto directo del bloque con la base. Una vez puesto el beaker con agua destilada en la plancha con agitador magnético, se esperó hasta alcanzar el punto de ebullición (100 °C) y luego sumergir con ayuda de las pinzas metálicas cada una de las piezas y dejarlas por 1 h. Transcurrido este tiempo, la plancha se apagó y el agua se dejó reposar hasta alcanzar 20 °C. Luego se extrajeron cada uno de los bloques y con una toalla absorbente se secó el exceso de agua y se pesaron nuevamente para aplicar la ecuación 2 y calcular el porcentaje (%) de absorción por ebullición. La figura 14 exhibe imágenes de la prueba de inmersión de los bloques de mampostería en agua por 1 h a temperatura de ebullición.

Ecuación 2. Absorción de agua de los bloques en 1 h de inmersión a temperatura de ebullición:

$$\text{Absorción, \%} = 100 * \frac{(W_b - W_s)}{W_s}$$

W_b = masa espécimen despues de la inmersion en agua en ebullición (g)

W_s = masa espécimen seco (g)



Figura 14. Prueba de absorción por ebullición de agua de los bloques de mampostería por 1 h a 100 °C
Fuente: Propia

3.2.5 Prueba de resistencia mecánica a la compresión

Para la prueba de resistencia a la compresión se seleccionaron de cada diseño de mezcla tres bloques que sus características modulares fueran las más idóneas y se enviaron al Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos GEOFÍSICA S.A.S. de la ciudad de Popayán – Cauca, regidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 [43]. Las mezclas se denominaron M1 (mezcla No. 1 lodo: arcilla) y M2 (mezcla No. 2 lodo: arcilla: arena).

Antes de someter los bloques a la prueba de resistencia fue necesario realizar un recubrimiento con yeso de alta resistencia. El proceso se llevó a cabo por los encargados en el laboratorio de GEOFÍSICA; la mezcla se preparó con agua y yeso, posteriormente sumergieron y nivelaron los bloques y se dejó reposar durante un día para que el yeso tuviera resistencia lo que garantiza que la compresión sea más uniforme. Este proceso se realizó con el fin de llenar los vacíos que quedan en la superficie de las áreas de contacto o de carga. La figura 15 muestra imágenes del recubrimiento de los bloques de mampostería para ser sometidos a la prueba de resistencia a la compresión.



Figura 15. Proceso de recubrimiento de bloques de mampostería
Fuente: Propia

3.3 FASE 3: Análisis de la Viabilidad Económica y Ambiental para la Elaboración de Bloques de Mampostería

3.3.1 Viabilidad económica

En esta etapa se realizó una comparación cualitativa entre un ladrillo convencional y un bloque de mampostería fabricado con lodos provenientes de la actividad minera aurífera, en los cuales se tuvo en cuenta las proporciones de mezcla para cada caso como también los resultados de cada una de las mezclas en las diferentes pruebas.

Por otro lado, para realizar dicha viabilidad se evaluó el porcentaje de material utilizado dentro de los dos diseños de mezcla para determinar el desempeño durante las pruebas de absorción y resistencia, con el fin de producir un producto competitivo dentro del mercado teniendo costos de producción al momento de reemplazar lodo minero por arcilla.

3.3.2 Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental se realizó teniendo en cuenta los diferentes estudios realizados en el municipio de Suárez – Cauca, como lo fueron la elaboración de informes técnicos presentados por el grupo de docentes investigadores de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, dentro del proyecto titulado Análisis del Uso Potencial de los Lodos Contaminados con Mercurio y/o Cianuro Producidos en el Beneficio de Oro en el municipio; como también se tuvo en cuenta la lista de chequeo realizada por el grupo de investigación del semillero Manejo Integral del Recurso Hídrico (MIRH) donde se evaluaron los componentes ambientales agua y suelo como recursos más afectados por a actividad minera aurífera en el municipio de Suárez.

Dentro de los resultados obtenidos se encontró que la gran cantidad de lodos generados en los entables del municipio de Suárez, son un foco de contaminación directa a suelos y fuentes hídricas, ya que estos no cuentan con el manejo adecuado desde que se generan hasta su disposición final, por tal motivo se ve la necesitada de darle un valor agregado al subproducto (lodos), que en combinación con otros materiales como la arcilla se puede obtener un material de tipo construcción para la elaboración de bloques de mampostería, mitigando de esta manera el impacto generado en el lugar de la actividad, al mismo tiempo que se beneficia la comunidad con el producto final.

4 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Fase 1. Determinación de las Características Físicas y Químicas de los Lodos Provenientes de la Actividad Minera

4.1.1 Caracterización física de los lodos

El lodo utilizado es un residuo de la extracción de oro. La caracterización física se realizó a dos entables mineros Ronald y Tierno ubicados en el municipio de Suárez – Cauca, por lo que su utilización en la elaboración de bloques de mampostería dependerá no solo del tamaño de partícula, sino que también de su límite plástico.

Granulometría de lodos: Se obtuvieron 6,00 kg de lodo del entable Tierno y 4,85 kg del entable Ronald, el tamaño de la partícula para ambas muestras fue de 150 μm , la cual no es la requerida por la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 [43], ya que el número de tamiz que sugiere la Norma es de 75 μm , con el cual no se contaba en el momento de realización de la prueba, por lo que el proceso se realizó de forma manual. Además, para lograr obtener una partícula de 75 μm se requiere que el proceso sea de manera electrónica para garantizar el paso del material por medio de la malla fina; sin embargo, el tamaño de la partícula obtenida presentó una textura fina similar al cemento garantizando su fácil manipulación. En la tabla 6 se encuentran las cantidades del material obtenido en el tamizaje de cada entable.

Tabla 6. Tamizaje de lodo entable minero Ronald y Tierno

Entable Ronald		Entable Tierno
Tamiz	Masa (kg)	Masa (kg)
150 μm	4,85	6,00

Fuente: Propia

Plasticidad de lodos: Las muestras de lodos mineros de los dos entables Ronald y Tierno fueron enviadas al Laboratorio de GEOFÍSICA S.A.S. Para determinación del límite plástico líquido comúnmente conocido como límite de Atterberg; se obtuvieron mediante el método de multipunto arrojando que las muestras de lodo se encuentran dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) [44] como un material limo de baja plasticidad (ML), por tal razón se requiere que el lodo sea mezclado con arcilla para compensar el bajo nivel de plasticidad. Los ensayos de laboratorio se evidencian en el Anexo 1 y 2.

4.1.2 Caracterización química de los lodos

La caracterización química de los lodos se realizó para determinar con cuál de los entables mineros Ronald o Tierno se trabajaría durante la elaboración de bloques de mampostería, por lo que se tuvo en cuenta la concentración de sus compuestos químicos; al ser un material proveniente de la actividad minera aurífera

el análisis de sus características fisicoquímicas es de gran importancia para determinar su viabilidad dentro del sector de la construcción.

Dentro de la evaluación del posible aprovechamiento de los lodos mineros auríferos del departamento del Cauca provenientes del municipio de Suárez – Cauca para la aplicación en la elaboración de bloques de mampostería, se requiere que dicho material contenga ciertos compuestos en el momento de la preparación de la mezcla de acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 [43]. En la tabla 7 se presentan los resultados de las características físicas y química de los lodos evaluados provenientes de los entables mineros Ronald y Tierno.

Tabla 7. Características químicas de los entables mineros Ronald y Tierno

Parámetro	Resultados obtenidos	Resultados obtenidos	Ladrillo Rango Ref. NTC 4017
	Ronald	Tierno	
SiO₂	56,70 %	48,34 %	64,1 – 83,1 %
Al₂O₃	9,54 %	7,00 %	21,8 - 27,1 %
Fe₂O₃	11,51 %	9,66 %	3,0 – 6,1 %
MgO	1,68 %	1,84 %	8 %
Mercurio	-	0,01 %	-
Análisis térmico	-	-	950 °C
Índice de plasticidad	N/A	N/A	10 - 30 %

Fuente: [48]

Teniendo en cuenta la tabla 7, se observa que los lodos por sus características químicas no son los más apropiados para la fabricación de bloques de mampostería, pues, aunque el contenido de sílice (SiO₂) y óxido de hierro (Fe₂O₃) para la muestra del entable Ronald se encuentren elevados, su concentración se puede disminuir mediante la incorporación de otro material similar en bajas cantidades. En cuanto al óxido de aluminio (Al₂O₃) este se presenta en bajas cantidades [50]. Por otro lado, la cantidad de óxido de hierro para la muestra del entable Tierno se encuentra entre el rango estipulado por la NTC 4017 [43], sin embargo, presenta baja concentración en sílice y aluminio.

El alto contenido de óxido de hierro (11,51 %) en el entable Ronald y (9,66 %) para el entable Tierno, probablemente ayudara a que la pieza de mampostería adquiriera el color rojo característico de los materiales cerámicos cocidos, además de aportar la impermeabilidad, durabilidad y resistencia a los compuestos cerámicos. Por otra parte, los bajos contenidos de aluminio pueden disminuir la resistencia mecánica de las piezas de mampostería [51]. En cuanto a la presencia de mercurio en las muestras de lodos se encontró que solo para el entable Ronald registró presencia de este metal pesado dando como resultado un valor de 0,01 % peso, valor que comparado con los límites establecidos dentro de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente de Colombia para concentraciones de mercurio

y cianuro; 0,002 y 1 mg/L respectivamente en aguas residuales mineras, no supera los límites dispuestos en la Resolución [45], [48].

Respecto al límite plástico de los lodos según los resultados obtenidos en los Anexo 1 y 2, se observó que los lodos no presentaron niveles de plasticidad por lo que no se pueden considerar como materia prima para la fabricación de materiales cerámico; sin embargo, con base a los componentes químicos obtenidos anteriormente, se tomó la decisión de trabajar con los lodos provenientes del entable minero Ronald elaborándose un diseño de mezcla con arcilla para compensar la baja plasticidad y generar un rango aproximado de los compuestos químicos para la fabricación de bloques de mampostería.

4.1.3 Caracterizaciones físicas de las arcillas inorgánicas

Las arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2), provenientes de la ladrillera propiedad de la familia Mosquera, ubicada a las afueras de la ciudad de Popayán en la vereda La Yunga, fueron utilizadas en el proceso para la elaboración de los bloques de mampostería, debido a que en su caracterización física presentaron condiciones adecuadas en cuanto a su plasticidad para ser mezcladas con lodo minero logrando conservar sus propiedades, los resultados de los análisis se evidencian en el **Anexo 4**.

Granulometría de las arcillas inorgánicas: En la tabla 8 se muestra el número de tamiz utilizado y la cantidad de material tamizado para ambas muestras; se obtuvieron 1,32 kg de (AI1) y 1,62 kg de (AI2), ambas muestras fueron pasadas por un tamiz de 150 μm , debido a que no se obtuvo de tamiz 75 μm como lo estipula la NTC 4017 [43], sin embargo el tamaño de las partículas fue adecuado por lo que no hubo problema al momento de manipularlas y homogenizarlas.

Tabla 8. Tamizaje de arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2)

ARCILLA		
Arcilla	Tamiz	Masa (kg)
Arcilla (AI1)	150 μm	1,32
Arcilla (AI2)		1,62
Total		2,94

Fuente: Propia

Índice de plasticidad de las arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2): En la tabla 9 se presentan los límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad realizado mediante el método de multipunto para ambas muestras de arcilla (AI1) y (AI2).

El método multipunto permitió definir la plasticidad de las arcillas por lo que ambas muestras según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS, presentan alta plasticidad por lo que se clasifican como arcilla de alta plasticidad (CH), lo cual es ideal para la elaboración de materiales cerámicos cocidos [39].

Tabla 9. Índice de plasticidad de las arcillas inorgánicas (AI1) y (AI2)

ARCILLA (AI1)		ARCILLA (AI2)	
Límite líquido, %	68,0	Límite líquido, %	66,6
Límite plástico, %	32,6	Límite plástico, %	32,3
Índice de plasticidad, %	35,4	Índice de plasticidad, %	34,3
CLASIFICACIÓ, SUCS	CH	CLASIFICACIÓ, SUCS	CH

Fuente: Propia

4.2 Fase 2. Preparación de la Mezcla Óptima para la Elaboración de los Bloques de Mampostería

4.2.1 Preparación de la mezcla de los lodos y arcilla para la elaboración de bloques de mampostería

Se determinó la cantidad de material a reutilizar mediante un diseño experimental a partir de los resultados de laboratorio de cada material con el fin de buscar el un equilibrio en las proporciones de los compuestos químicos necesarios para la fabricación de bloques de mampostería obteniendo dos diseños de mezcla.

- **Diseño de Mezcla No. 1:** Lodo: Arcilla en % 30/70
- **Diseño de Mezcla No. 2:** Lodo: Arcilla: Arena en % 30/50/20

Cabe resaltar que el entable escogido para la elaboración de los bloques fue el del entable minero Ronald, ya que la proporción de sus compuestos químicos (ver tabla 5), permitieron que el incremento de los porcentajes de silicio y aluminio se lograra utilizando datos teóricos de las arcillas inorgánicas mediante el diseño experimental. La tabla 10 muestra ambas mezclas y los porcentajes de materiales escogidos para la elaboración de los bloques de mampostería.

Tabla 10. Combinación en % de Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2 según resultados de laboratorio

Parámetro	Mezcla No.1	Mezcla No. 2	Ladrillo Rango Ref. NTC 4017
SiO ₂	54,59 %	43,86 %	64,1 - 83,1 %
Al ₂ O ₃	15,50 %	11,89 %	21,8 - 27,1 %
Fe ₂ O ₃	9,33 %	7,65 %	3,0 – 6,1 %
MgO	2,45 %	1,89 %	8 %
Plasticidad	24,01 %	17,15 %	10 – 30 %

Fuente: Propia

4.2.2 Elaboración de los bloques de mampostería

La elaboración de los bloques de mampostería se llevó a cabo mediante 5 etapas; **Etapa 1.** Masa de material a utilizar, **Etapa 2.** Elaboración del bloque, **Etapa 3.** Determinación de la masa del bloque, **Etapa 4.** Secado del boque y, **Etapa 5.** Cocción del bloque.

Etapa 1. Masa del material a utilizar: En la tabla 11 se muestran la masa en gramos (g) y la cantidad absoluta de cada material requerido por cada diseño de mezcla.

Tabla 11. Mezcla para la elaboración de bloques de mampostería Mezcla No.1 y Mezcla No. 2

Mezcla No. 1	Lodo (g)	Arcilla (g)	Arena (g)	Total (g)
Lodo:Arcilla (30/70)	150	350	0	500
Mezcla No. 2	Lodo (g)	Arcilla (g)	Arena (g)	Total (g)
Lodo:Arcilla:Arena (30/50/20)	150	250	100	500

Fuente: Propia

Etapa 2 y 3. Elaboración y pesaje del bloque de mampostería: En la tabla 12 se muestran la cantidad y en masa en gramos (g) de cada bloque obtenido por cada diseño de mezcla.

Tabla 12. Cantidad de bloques de mampostería por cada diseño de mezcla

Mezcla No. 1. lodo:arcilla		Mezcla No. 2. lodo:arcilla:arena	
#	Masa (g)	# Bloques	Masa (g)
1	185,8	1	184,1
2	183,5	2	190,4
3	188,3	3	185,9

Fuente: Propia

Etapa 4. Secado del bloque de mampostería: En la figura 16 se evidencia la masa inicial desde la elaboración (día uno) de los bloques y la masa en gramos previos de cada unidad hasta terminar el proceso de secado a temperatura ambiente (~25 °C, día cinco) para cada una de las mezclas, respectivamente.

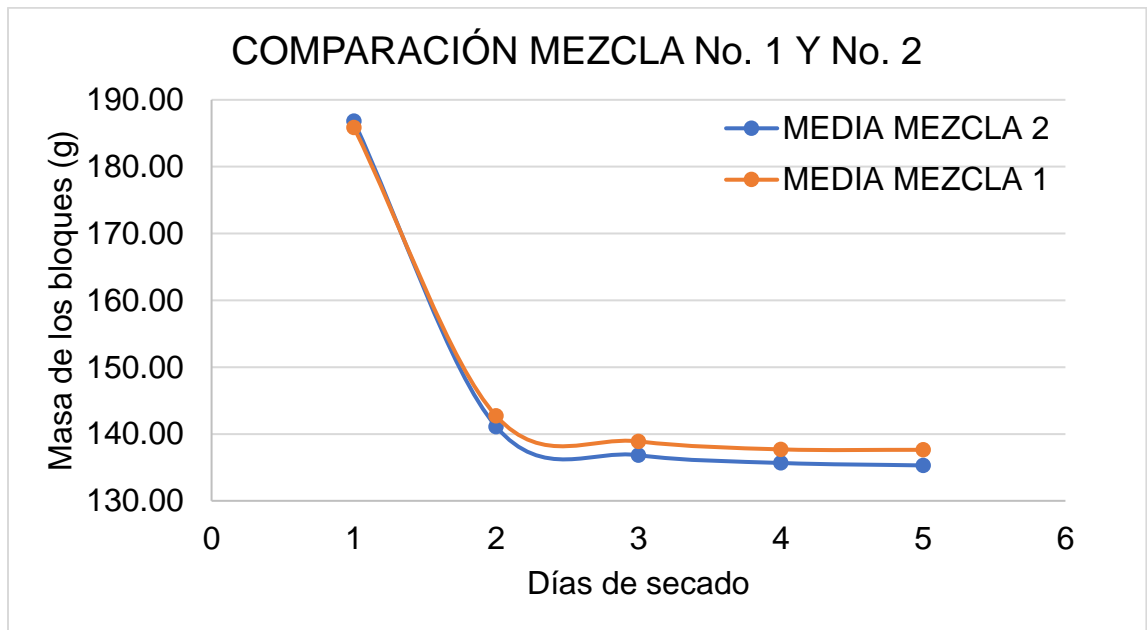


Figura 16. Comparación pérdida de masa secado a temperatura ambiente (~25 °C)
Fuente: Propia

La mayor pérdida de masa tanto para la mezcla No.1 como para la mezcla No. 2 se evidencio del día uno al día dos pasando de una masa 186,80 g a 141,10 g y de 185,9 g a 142,7 g, respectivamente, es decir una pérdida de aproximadamente del 24,5 % de la masa total. Por otro lado, aunque la mezcla No. 2 inicialmente tenía una masa mayor al finalizar el quinto día presento una mayor pérdida de masa respecto a la mezcla No. 1. Estas pérdidas de masa se pueden atribuir a la humedad inicial para la elaboración de los bloques, en la mezcla No.1 se utilizaron materiales como arcilla:lodo los cuales tiene una retención mayor de agua y por otro lado la arena empleada en la mezcla No. 2 elimina de forma más rápida la humedad que recibe.

Así mismo, la diferencia de masa entre cada uno de los bloques para ambas mezclas se le atribuye a la humedad de cada unidad, ya que, al no ejercer la presión necesaria al momento de compactar el bloque, este se expande una vez fuera del molde debido a la presencia de burbujas de aire atrapadas y formadas en su interior, provocando desproporción en la unidad por tanto afecta la masa de la misma.

Etapa 5. Cocción de bloque de mampostería: En la tabla 13 se muestra la masa en g por cada bloque de mampostería después de la cocción durante un periodo de tiempo de 12 horas a una temperatura de 950 °C.

Tabla 13. Masa en g por cada bloque de mampostería después de cocción

#	Mezcla No. 1 Lodo:Arcilla			Mezcla No. 2 Lodo:Arcilla:Arena		
	Bloque crudo	Bloque cocido	Diferencia	Bloque crudo	Bloque cocido	Diferencia
1	137,3	114,2	23,1	134,4	119,4	15,0
2	136,4	118,1	18,3	137,6	117,7	19,9
3	139,2	115,1	24,1	133,9	121,0	12,9
Media	137,6	115,8	21,8	135,3	119,4	15,9
SD	1,4	2,0	3,1	2,0	1,7	3,6

Fuente: Propia

El comportamiento pérdida de masa para mezcla No.1 por cada unidad de mampostería cocida entre 18 y 24 g, mientras que para la mezcla No. 2 la diferencia fue entre un 13 y 20 g para cada bloque cocido en comparación con la masa inicial. Por lo que la desviación estándar muestra que la mezcla No. 1 presenta una dispersión de 3,1 frente a los valores de masa por cada bloque, mientras que la mezcla No. 2 arrojo un resultado de 3,6 de dispersión de los datos por cada bloque. Teniendo en cuenta los resultados mencionados anteriormente, se denota que los valores de la desviación estándar en ambas mezclas son altos, sin embargo, la dispersión de los datos en la mezcla No.1 se encuentran en menor proporción que la mezcla No. 2, indicando que la mezcla lodo:arcilla presenta mejores condiciones físicas debido al material utilizado.

4.2.3 Pruebas de absorción de agua

4.2.3.1 Absorción de agua por inmersión 24 h por cada bloque de mampostería

En el ensayo de absorción por inmersión ambas mezclas con diferentes reemplazos mostraron resultados positivos frente al tiempo de cada prueba, por lo que se estima que logro el tiempo óptimo de cocción. Los resultados para el ensayo de absorción de agua para ambas mezclas No. 1 y No. 2. se presentan en la figura 17.

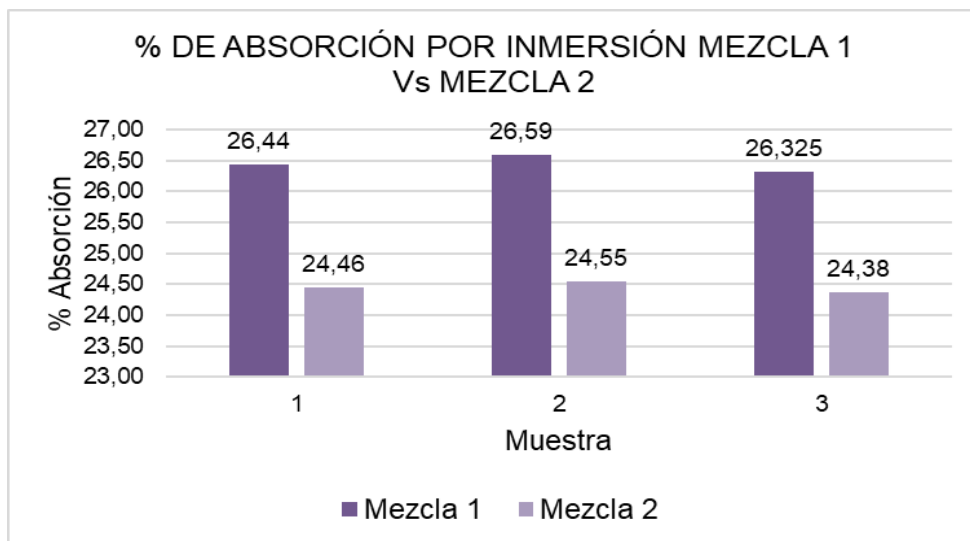


Figura 17. Comparación prueba de absorción por inmersión 24 h Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2
Fuente: Propia

La mezcla No. 1 presenta aproximadamente el 7 % más de la absorción de agua en 24 h con las que debe cumplir las unidades de mampostería no estructural según la NTC 4205 [37]. Y aunque la mezcla No. 2 presenta menor absorción de agua no alcanza a estar dentro de los rangos que exige dicha norma. Sin embargo, el aumento de absorción se le atribuye en gran medida al porcentaje de reemplazo de lodo minero por arcilla. Al respecto conviene decir que, la baja saturación de la mezcla No. 2 puede ser atribuida a la presencia de arena en la mezcla, debido a su textura, la cual no la hace un material impermeable y por el contrario la mezcla lodo – arcilla, ambos materiales se caracterizan por ser permeables, además que los vacíos internos generados durante la elaboración ocasionan que haya mayor absorción.

4.2.3.2 Absorción de agua por ebullición 1 h por cada bloque de mampostería

El ensayo de absorción por ebullición se realizó una vez terminada la prueba de inmersión, de manera que las unidades de mampostería aún conservaran la saturación de la anterior prueba. En la figura 18, se observan los resultados para ambas mezclas; mostrando nuevamente un mejor desempeño la mezcla No. 2, ya que, su absorción disminuyó aproximadamente 1,5 % frente a la absorción por inmersión, quedando la saturación más baja en 23,8 %, frente a la mezcla No.1, la cual obtuvo una saturación de 24,9 %.

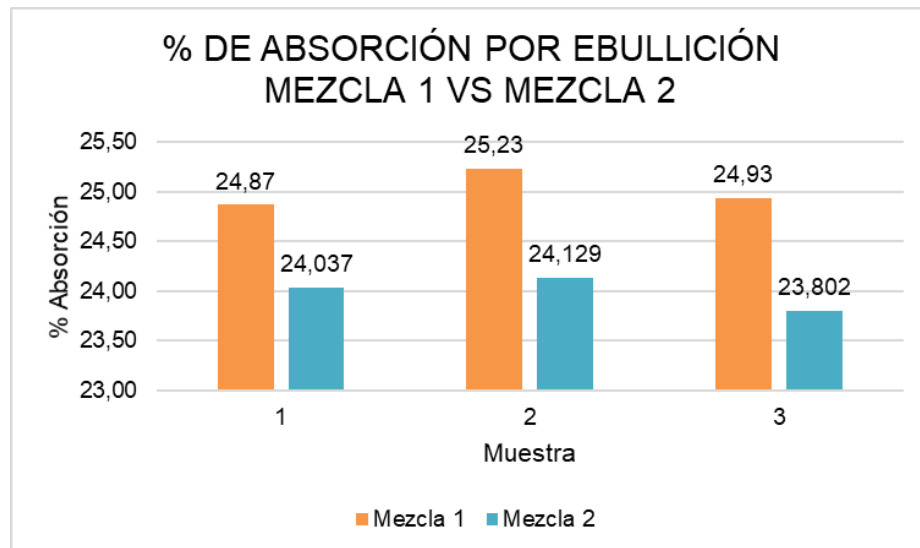


Figura 18. Comparación de absorción por ebullición 1 h Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2
Fuente: Propia

4.2.3.3 Pruebas de resistencia mecánica a la compresión

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión realizada a los bloques de mampostería correspondientes a la mezcla No. 1 y mezcla No.2, demostraron un buen comportamiento mecánico durante la prueba basado en la NTC 4017 y NTC 4205 [37], [43].

En la norma NTC 4205 se encuentran los requisitos que se deben cumplir para unidades de mampostería estructural y no estructural, los criterios contemplados para mampostería estructural están referenciados en la NTC 4205-1, para mampostería no estructural los referenciados en NTC 4205-2 como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Especificaciones resistencia mecánica a la compresión NTC 4205

Clasificación	Promedio de 5 Unidades MPa (kg f/cm ²)	Unidad MPa (kg f/cm ²)
Requisitos unidad de mampostería estructural NTC 4205-1	20,0 (200)	15 (150)
Requisitos unidad de mampostería no estructural NTC 4205-2	14,0 (140)	10 (100)

Fuente: [52]

Según las especiaciones de la NTC 4205 para mampostería no estructural exige que el ladrillo por unidad puede tener una resistencia igual o mayor a 10 MPA, pero para promedio nos pide por 5 unidades un valor mayor o igual a 14 MPA.

Los resultados de resistencia para cada una de las muestras de ladrillo macizo se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Prueba de resistencia mecánica para cada Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2

Mezcla	Muestra No.	Resistencia a la compresión (MPa)
Mezcla No. 1 Lodo:Arcilla	1	11,6
	2	11,2
	3	8,8
	Promedio	10,5
Mezcla No. 2 Lodo:Arcilla:Arena	4	9,4
	5	7,8
	6	9,1
	Promedio	8,8

Fuente: Propia

Mezcla No.1. Lodo:Arcilla

El promedio obtenido en el lote No.1 es de 10,5 MPa (105,3 kg f/cm²), de igual manera se observa, el valor individual más bajo para la muestra No. 3 con 8,8 MPa (87,6 kg f/cm²), teniendo en cuenta los resultados individuales la muestra más alta para la muestra No.1 con 11,6 MPa (116,3 kg f/cm²). Por lo que la muestra cumple con los requisitos especificados en la NTC 4205-2 para mampostería no estructura [52].

Mezcla No.2. Lodo:Arcilla:Arena

El promedio obtenido en el lote No. 2 es de 8,7 MPa (87,6 kg f/cm²), observando de manera individual el valor más bajo para la muestra No.5 con 7,7 MPa (77,5 kg f/cm²) y el mejor resultado para la muestra No. 4 con 9,4 MPa (94,3 kg f/cm²). En este caso los resultados no cumplen con los criterios requeridos de NTC 4205; sin embargo, considerando el buen comportamiento del lote y la investigación propuesta por Cesar Augusto García y compañía se podría reevaluar el porcentaje de adición de lodo y lograr cumplir los requisitos para mampostería estructural [20].

Finalmente observa que la resistencia disminuye cuando a la mezcla se agrega arena y aumenta cuando solo se tiene lodo – arcilla, por lo que la adición de arena en el proceso de elaboración de materiales cerámicos no se considera necesario para lograr eficiencia.

4.3 Fase 3. Análisis de la Viabilidad Económica y Ambiental para la Elaboración de Bloques de Mampostería

4.3.1 Viabilidad económica

La elaboración de bloques de mampostería tiene gran viabilidad económica en la comunidad de Suárez – Cauca, ya que dentro de la primera fase correspondiente a la caracterización de los lodos mineros estos arrojaron resultados positivos encontrando los lodos del entable Ronald aptos para la elaboración de bloques de mampostería. Además, de acuerdo con los resultados obtenidos en cada prueba de laboratorio realizadas a los dos tipos de mezclas: Mezcla No. 1 (lodo:arcilla) y Mezcla No. 2 (lodo:arcilla:arena), la cual se desarrolló a escala piloto, la mezcla que mostró mejor desempeño en cada una de las pruebas fue la Mezcla No.1 con porcentajes de 30 % y 70 % (lodo/arcilla), lo que nos permite demostrar la viabilidad de la reutilización del lodo minero.

La producción de ladrillo convencional en Colombia se ha venido desarrollando de manera artesanal, representando costos de producción por unidad de \$ 77 COP; sin embargo, la demanda de material requerido ha ido aumentando generando impactos negativos en el ambiente por explotación de canteras, dando oportunidad a la incorporación de materiales que se consideran desechos como por ejemplo lodos provenientes de la extracción de oro, los cuales han representado gran problemática en el momento de su disposición final. A partir de información secundaria encontrada en tesis realizadas, se evidenció que la producción de lodos en las entables mineros del municipio de Suárez – Cauca oscila entre los 18,36 m³ cada 24 horas en un entable de 22 tambores [6]; volumen al cual se les puede dar un valor agregado dentro del sector de la construcción, como material de reemplazo en la elaboración de bloques de mampostería, beneficiando a la comunidad aledaña al sitio de extracción.

En una ladrillera el promedio semanal de arcilla utilizada en m³ para producir 23040 ladrillos esta alrededor de 41.309 m³/día por lo que el costo de arcilla por cada ladrillo se representa en \$0.3570 COP [53]. Con base en la información mencionada anteriormente y los resultados obtenidos en la elaboración de los bloques de mampostería a escala piloto se estima que el costo de producción por unidad de ladrillo macizo presenta un ahorro significativo del 30 % del material utilizado; por lo que a escala real tomado como referente una producción de 2000 unidades utilizando solo arcilla la masa promedio de una unidad de ladrillo seria de 2,1 kg, por lo que la cantidad de arcilla utilizada en la elaboración de dicha cantidad será de 4200 kg; si en lugar de utilizar 100 % de arcilla se utiliza una proporción de (70/30) 70 % arcilla, 30 % lodos el ahorro en arcilla seria de 1260 kg que se reemplazarían por lodos mineros logrando de esta manera la incorporación de los desechos mineros dentro de la economía circular.

Ahora bien, si para producir 23040 se requieren 41.309 m³ de arcilla, sacando el 30 % de lodo el ahorro sería de 12,367 m³, ya que solo se utilizaría 28,942 m³ de arcilla, generando un ahorro en pesos de \$ 723,550 pesos semanal en consumo de arcilla esto tomando como referencia que el valor del m³ de arcilla sea de \$25.000 pesos aproximadamente.

4.3.2 Viabilidad ambiental

En la minería el principal riesgo de contaminación se le atribuye a almacenamiento de lodos debido a la afectación que los lixiviados provoca al suelo circundante y al sustrato geológico, de lo anterior resulta que los efectos por la contaminación del suelo afectan el ciclo biogeoquímico y su función de biofiltro, lo que en consecuencia disminuye el crecimiento de microorganismos, de tal manera que provoca un bajo rendimiento en los cultivos; de igual manera a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas [54].

Dentro de los componentes evaluados en la lista de chequeo realizada por el grupo de investigación MIRH (Manejo Integral del Recurso Hídrico), se identificó como el más significativo el componente agua, ya que para obtener el producto final (oro) se utilizan aproximadamente 560 L, los cuales no se reutilizan dentro de los procesos posteriores, y que al entrar en contacto con el material amalgamado su estado líquido pasa a convertirse en sólido formando así lodos mineros que son dispuestos cerca a los entables o en pozos, generando de primera mano un impacto visual; deteriorando la cobertura vegetal y por escorrentía provocando una posible contaminación a fuentes hídricas.

Por otra parte, la evaluación presentada en la zona de estudio mediante la matriz de Leopold elaborada por profesores y estudiantes del grupo de investigación MIRH, refleja que la zona de explotación minera del municipio de Suárez – Cauca presenta afectaciones al medio ambiente, de gran impacto al entorno, no solo por la extracción sino también por la transformación del material para obtener el producto final, por lo que los componentes ambientales están siendo deteriorados ecuanímente por la explotación minera.

La contaminación causada por la acumulación de los lodos en municipio de Suárez es un tema de interés que ha venido trabajando la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, promoviendo alternativas que ayuden a mitigar la problemática mencionada anteriormente por lo que los trabajos realizados dentro de la zona apuntan a un desarrollo sostenible y amigable con el medio ambiente, como por ejemplo la implementación de procesos biológicos para evaluar la toxicidad en lodos contaminados con mercurio mediante pruebas de *Daphnia magna* [6], al igual que la propuesta de implementación de lechos de secado utilizando escombros estériles los cuales presentan grupos funcionales con azufre, lo cuales tienen afinidad con Hg²⁺, logrando retener aproximadamente un 96.9 % del metal [3].

5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo con la caracterización de los lodos provenientes del proceso de extracción de oro en el municipio de Suárez – Cauca, se determinó las características físicas y químicas de los lodos, obteniendo un 56,70 % (SiO_2) y 11,51 % (Fe_2O_3), estos dos parámetros fueron tomados en cuenta para la selección del material a utilizar durante el desarrollo del proyecto, debido a que la presencia de óxido de hierro en esa cantidad en la muestra de lodo permitió garantizar las características físicas de los bloques mejorando su resistencia a la compresión mecánica. Finalmente, para evitar la deformación del material en el momento de cocción es de gran importancia controlar la cantidad de óxido de magnesio (MgO), el cual no debe superar el 8 %.

De acuerdo a análisis realizados por los docentes del macroproyecto frente a la presencia de componentes tóxicos en los lodos mineros, se encontró que el porcentaje de mercurio en la muestra de lodo utilizado en la elaboración de los bloques fue del (0,01 %), aspecto determinante para el estudio, puesto que el resultado está dentro de los límites permisibles de la resolución 0631 del 2015 para vertimientos de aguas contaminadas con mercurio.

Una vez determinadas las mezclas y de acuerdo a los resultados de cada una de las pruebas realizadas a los bloques de mampostería, se concluyó que; la mezcla que alcanzó mejor desempeño fue la mezcla No.1 con porcentajes de 30 % lodo y 70 % arcilla, cumpliendo no solo con las expectativas del proyecto, sino que también cumple con los parámetros que exige la norma NTC 4017 y NTC 296.

Además, se encontró que la influencia de la temperatura y el tiempo de cocción en la elaboración de materiales cerámicos está directamente relacionada con la resistencia a la compresión, por lo que a mayor temperatura mayor resistencia y a menor temperatura menor resistencia.

Por otra parte, el uso de material proveniente de los entables mineros en este caso el lodo es una alternativa viable tanto para el medio ambiente como para la industria constructora, ya que comercialmente se pueden minimizar costos de material en la elaboración de mampostería tipo construcción.

Finalmente, con la implementación del proyecto se puede generar en la zona de estudio un desarrollo económico dentro de la comunidad, promoviendo nuevas alternativas que aporten al cuidado de los componentes ambientales, teniendo en cuenta que los bloques propuestos en el documento son de alta demanda dentro del ámbito industrial.

5.2 Recomendaciones

Dado el buen desempeño del lodo minero dentro del proyecto, se recomienda realizar ensayos a escala real con el fin de ratificar de forma más amplia el desempeño de la mezcla en el uso de material tipo estructural y no estructural. Como también realizar pruebas térmicas al producto para determinar la presencia de mercurio y sus alteraciones frente la temperatura.

Se recomienda que, al momento de reutilizar el lodo minero, este se encuentre totalmente seco o que haya tenido previamente un proceso de deshidratación, ya que, este presenta alto porcentaje de humedad lo que puede afectar el proceso de cocción y por lo tanto disminuir su resistencia.

Es recomendable realizar análisis de toxicidad a los bloques de mampostería para garantizar la inertización de metales pesados como plomo, cromo, cadmio entre otros.

Se pueden realizar investigaciones sobre los resultados obtenidos durante el proceso que sirvan con base para estudios que busquen el reemplazo porcentual del cemento para la elaboración de adoquines.

6 REFERENCIAS

- [1] International Institute for Environment and Development, “Minería artesanal y en pequeña escala,” *MMSD Abriendo Brecha*, vol. Capítulo 1, pp. 431–458, 2002, [Online]. Available: <http://pubs.iied.org/pdfs/G00687.pdf>.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, “Análisis del comportamiento del PIB minero cuarto trimestre del 2018,” Bogotá, 2019. [Online]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23966843/PIB+IV+trimestre+2018.pdf/f2ce44da-5a6a-456c-9f2a-fa74d89d4d5f>.
- [3] K. J. Santander Muñoz and V. S. Quipo Chavarro, “Sistema de manejo para lodos de dique de colas provenientes de la minería de oro en la Vereda El Tamboral, Suárez - Cauca.,” 2018.
- [4] H. J. Ayala Mosquera *et al.*, Identificación y análisis de impactos de la actividad minera y la explotación ilícita de minerales en los ecosistemas del territorio colombiano. 2019, p. 122.
- [5] Agencia Nacional de Minería, “Caracterización de la actividad minera departamental,” Popayán, 2012.
- [6] E. Velasco Ambuila, “Evaluación ecotoxicológica en lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producido en el beneficio de oro en Suárez - Cauca por medio de procesos biológicos,” 2021.
- [7] L. Güiza, “La pequeña minería en Colombia: Una actividad no tan pequeña,” *DYNA*, vol. 80, no. 181, pp. 109–117, 2013.
- [8] Ministerio de Minas y Energía and Servicio Geológico Colombiano, “Informe técnico de la guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin uso del mercurio, Suárez, Buenos Aires y el Tambo - Cauca,” 2017.
- [9] L. Hernandez Ortiz, M. Ruiz Gutiérrez, and E. Salinas Sánchez, “Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 11, no. 2, pp. 105–115, 1995.
- [10] MADS PNUMA, *Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala*. Bogotá, 2012.
- [11] Congreso de Colombia, *Ley 685 de 2001. Código de Minas*, vol. 2. 2002, pp. 1–109.
- [12] J. Rodríguez, D. González, J. Martínez, and K. Páez, “Población, territorio y desarrollo sostenible,” vol. 1, p. 140, 2011.
- [13] Ministerio de Minas y Energía, *Censo Minero Departamental 2010-2011*. 2012, p. 14.
- [14] A. Valencia González and D. J. Soto Ramírez, “Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico: Minería de Oro. Corantioquia,” 2016.
- [15] A. Martínez Ortiz, “Impacto socioeconómico de la minería en Colombia,” Bogotá, 2012.
- [16] J. Anzola Morales, “Suárez en la mira: Riqueza minera, conflictos sociales y grupos armados ilegales al acecho,” *Rev. Controv.*, vol. 1, no. 199, pp. 75–109, 2012, [Online]. Available:

<https://revistacontroversia.com/index.php?journal=controversia&page=issue&op=view&path%5B%5D=20>.


- [17] L. Güiza Suárez, “La minería de hecho en Colombia,” Bogotá, 2010. doi: 958-958-8571-29-4.
- [18] D. Zuluaga Castrillón, “Implementación de residuos mineros en formulaciones de mezclas para elaboración de ladrillos cerámicos,” Universidad de Antioquia, 2020.
- [19] A. T. Leguizamo Castellanos and J. S. Ruiz Rodríguez, “Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyacá,” *Boletín Semillas Ambient.*, vol. 13, no. 2, pp. 24–35, 2019.
- [20] C. A. García Ubaque, M. C. García Vaca, and M. L. Vaca Bohórquez, “Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales,” *Rev. Tecnura*, vol. 17, no. 38, pp. 68–81, 2013, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a05.
- [21] C. Gutiérrez Arango and A. M. Cerón Cerón, “Proyecto de investigación elaboración de unidades de mampostería perforada de concreto utilizando relaves provenientes de la minería de agregados,” Universidad Santo Tomás, 2019.
- [22] P. Torres, D. Hernández, and D. Paredes, “Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos,” *Rev. Ing. construcción*, vol. 27, no. 3, pp. 145–154, 2012, doi: 10.4067/s0718-50732012000300003.
- [23] L. Caicedo Gonzales, “Planteamiento de una Tecnología de Producción más Limpia para el Proceso de Beneficio de Oro sin Mercurio,” *Artículo*, vol. 1, no. 1, p. 21, 2016.
- [24] N. Fuentes Molina, S. A. Isena León, and J. G. Ascencio Mendoza, “Adición de lodos residuales en la elaboración de matrices de cerámicas,” *Rev. EIA*, vol. 16, no. 1794–1237, pp. 1–13, 2019.
- [25] L. E. Rojas Huamaní and V. H. L. Edith, “Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamble,” 2017.
- [26] Defensoría del pueblo, *La Minería Sin Control*. 2015.
- [27] J. A. Casallas, Miguel; Martínez, “Panorama de la minería del oro en Colombia,” *Ploutos*, vol. 5, no. 1, pp. 20–27, 2014.
- [28] X. Rueda, M. A. Vélez, and M. J. Rubiano, “Minería de oro artesanal y de pequeña escala. Estrategias para su formalización y diferenciación de la minería ilegal,” 2020.
- [29] Ministerio de Minas y Energía, *Glosario Técnico Minero República de Colombia*, vol. 1, no. 1. 2015, p. 168.
- [30] K. S. Ordoñez Aponza, “Evaluación de impacto ambiental de cinco bocaminas pertenecientes al área de reserva minera del municipio de Suárez - Cauca,” 2018.
- [31] D. Morales Ramírez and R. Roux Rodríguez, “Estudio De Impacto Social: Antecedentes Y Línea Base Para San Fernando, Tamaulipas,” *Rev. Int. Ciencias Soc. y Humanidades, SOCIOTAM*, vol. XXV, no. 1, pp. 111–130, 2015.

- [32] B. WRM, "Impactos ambientales y sociales de la minería," *Movimiento Mundial por los bosques tropicales*, 2003. .
- [33] Alianza por la Minería Responsable, "Estudio de caso Suárez y Tambo Cauca," 2018.
- [34] Alianza por la Minería Responsable - ARM, "Complemento de Plan de Manejo Ambiental de la Planta de Beneficio Demostrativa Movil," 2019.
- [35] E. P. Gutiérrez Lozano, "Manejo de residuos en minería: La regulación como herramienta de desarrollo," 2014.
- [36] J. Gumiel Gutiérrez *et al.*, "Actuaciones para el reconocimiento y retirada de los lodos depositados sobre el terreno, y su restauración edáfica y morfológica," *Boletín geológico y Min.*, vol. 112, no. 1, pp. 93–122, 2001.
- [37] Ministerio de Desarrollo Económico, *NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos*. 2000, p. 12.
- [38] Reglamento Nacional de Construcción RNC, *Norma mínima de diseño y construcción de Manpostería*. 2017, pp. 1–58.
- [39] R. E. Garces Aguilar and W. N. Garces Aguilar, "Caracterización de las arcillas del Norte del Cauca, Colombia enclave para la optimización del proceso productivo de la industria ladrillera," *J. Cienc. e Ing.*, vol. 9, no. 1, pp. 34–41, 2017.
- [40] R. A. Muñoz Meneses, J. A. Muñoz Chaves, P. Mancilla, and J. E. Rodríguez Páez, "Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (Colombiana)," *Química*, vol. 31, pp. 537–544, 2007.
- [41] J. Barranzuela Lescano, "Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la region piura," 2014.
- [42] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), *Norma técnica colombiana NTC 296*. 2000, p. 6.
- [43] Icontec Internacional, *Norma Técnica Colombiana NTC 4017*. 2018, p. 60.
- [44] ICONTEC, *NTC 4630. Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos*. 1999, pp. 1–10.
- [45] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible Resolución 631 De 2015*. 2015, pp. 1–103.
- [46] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Secretaria de medio ambiente y recursos naturales*. 2003, pp. 1–44.
- [47] E. Helo Molina, "Manejo y Planeación Territorial en el Consejo Comunitario Afrodesendiente de Mindalá - Suárez, Desde el Enfoque de los Sistemas Socio-ecológicos," 2016.
- [48] N. Samboni Ruiz *et al.*, "Informe II_2019 _Lodos AUTONOMA," 2019.
- [49] IDEAM, *Resolucion 062 de 2007*, no. 0062. 2007, pp. 1–55.
- [50] Materiales de Construcción, "La formación de color en ladrillos rojos y amarillos," *Mater. Construcción*, vol. 14, no. 113, pp. 40–48, 1964, doi: 10.3989/mc.1964.v14.i113.1792.
- [51] N. Afanador García, A. C. Ibarra Jaime, and C. A. López Durán, "Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración


- de ladrillos en la zona de Ocaña , Norte de Santander,” *Epsilon*, vol. 1, no. 20, pp. 101–119, 2013.
- [52] Instituto colombiano de normas tecnicas, *Norma Técnica Colombiana NTC 4205-2. Unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos. parte 2: mampostería no estructural*, no. 571. 2009.
- [53] D. Pérez Agudelo and L. E. Cañas Torres, “Propuesta de mejoramiento en el sistema productivo de una ladrillera del norte del Valle utilizando herramientas de Ingeniería Industrial.” 2020.
- [54] S. Silva and F. Correa, “Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica.,” *Semest. Económico*, vol. 12, no. 23, pp. 13–34, 2009, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>.

ANEXOS


6.1 Anexo 1. Resultados de análisis índice de plasticidad de los lodos entable Tierno.



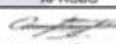
GEOFISICA SAS
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos
Certificación, Calidad y Economía No. 906.224.884-9



ISO 9001
certitec




CERTIFICADO
IQRNet
MANAGEMENT SYSTEM

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, DEL PLÁSTICO Y DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS COHESIVOS NTC 4630		FGLR-301 Versión 03 Página 1 de 1	
CLIENTE:	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca	ORDEN SERVICIO No.: 2030	
OBRA:	Entable Minero		
LOCALIZACIÓN OBRA:	Municipio de Suarez - Departamento del Cauca		
CONTRATISTA:	N.A		
INTERVENTORÍA:	N.A		
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Suelo color gris muy oscuro		
FUENTE:	Derechos mineros, Tiernos		
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S		
FECHA DE RECIBO:	10-dic-2019	FECHA DE ENSAYO: 11-dic-2019	
MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO:	Seco		
DATOS LIMITE LIQUIDO			
Prueba No.	1	2	3
Numero de golpes			
Tara N°			
Masa húmeda + tara.g			
Masa Seca + tara.g			
Masa de Tara.g			
Humedad, %			
Prueba N°	1	2	
Tara N°			
Masa húmeda + tara.g			
Masa Seca + tara.g			
Masa de Tara.g			
Humedad, %			
Limite Liquido, %	NL		
Limite plástico, %	NP		
Índice plasticidad, %	NP		
CLASIFICACIÓN, SUCS	ML		
OBSERVACIONES:	Muestra y datos suministrados por el cliente.		
REVISÓ	APROBO		
KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ GEOTECNÓLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAU	 FERNANDO MUÑOZ FUENTES SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 1951601294CAU		
LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ENTREGADA AL LABORATORIO Y SOMETIDA A ENSAYO ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO			


Ca# 6 #11-35 B/Valencia Tel: 8223585 Telefax: 8224555 Cel: 321 642 3999 - 300 650 8041 POPAYÁN - COLOMBIA

www.geofisica.com.co
e-mail: info@geofisica.com.co



6.2 Anexo 2. Resultados de análisis índice de plasticidad de los lodos entable Ronald.



GEOFISICA SAS
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentas
Confiable, Calidad y Economía NL 900.224.144-9




ISO 9001
IONet
MANAGEMENT SYSTEM

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, DEL PLÁSTICO Y DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS COHESIVOS NTC 4630		FGLR-301 Versión 03 Página 1 de 1								
CLIENTE:	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca	ORDEN SERVICIO No.: 2030								
OBRA:	Entable Minero									
LOCALIZACIÓN OBRA:	Municipio de Suarez - Departamento del Cauca									
CONTRATISTA:	N.A									
INTERVENTORÍA:	N.A									
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Suelo color gris verdoso oscuro									
FUENTE:	Derechos mineros, Ronald									
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S									
FECHA DE RECIBO:	10-dic-2019	FECHA DE ENSAYO: 11-dic-2019								
MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO:	Seco									
DATOS LIMITE LIQUIDO										
Prueba No.	1	2	3							
Numero de golpes										
Tara N°										
Masa húmeda + tara.g										
Masa Seca + tara.g										
Masa de Tara.g										
Humedad, %										
DATOS LIMITE PLÁSTICO										
Prueba N°	1	2								
Tara N°										
Masa húmeda + tara.g										
Masa Seca + tara.g										
Masa de Tara.g										
Humedad, %										
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Limite Liquido,%</td> <td>NL</td> </tr> <tr> <td>Limite plástico,%</td> <td>NP</td> </tr> <tr> <td>Indice plasticidad,%</td> <td>NP</td> </tr> <tr> <td>CLASIFICACIÓN, SUCS</td> <td>ML</td> </tr> </table>			Limite Liquido,%	NL	Limite plástico,%	NP	Indice plasticidad,%	NP	CLASIFICACIÓN, SUCS	ML
Limite Liquido,%	NL									
Limite plástico,%	NP									
Indice plasticidad,%	NP									
CLASIFICACIÓN, SUCS	ML									
 <p style="text-align: center;">CURVA DE FLUIDEZ</p>										
OBSERVACIONES:	Muestra y datos suministrados por el cliente.									
REVISÓ	APROBO									
KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ <small>GEOTECNOLOGO - Mat. Profesional # 19518030791CAU</small>	 FERNANDO MUÑOZ FUENTES <small>SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19518001294CAU</small>									
LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ENTREGADA AL LABORATORIO Y SON ÚNICAMENTE PARA USO EN ESTE ENSAYO. ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO										


Cañe 6 #11-35 B/Valencia Tel: 8223585 Telefax: 8224555 Cel: 321 642 3999 - 300 650 8041 POPAYÁN - COLOMBIA

www.geofisica.com.co e-mail: info@geofisica.com.co


6.3 Anexo 3. Resultados análisis de la Arcilla Inorgánica 1 (AI1)



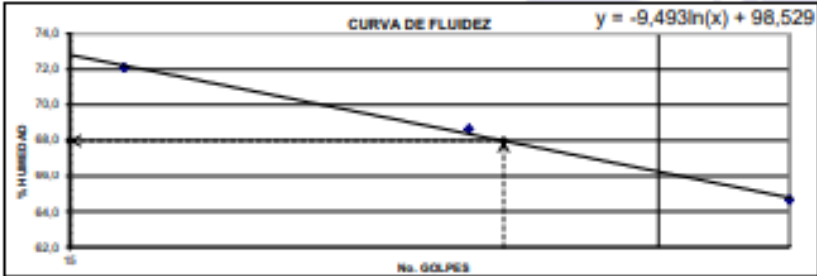

GEOFISICA SAS
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos
S.L. 90121410-0




ISO 9001
Icontec
90-00000000




IQNet
MANAGEMENT SYSTEMS

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, DEL PLÁSTICO Y DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS COHESIVOS NTC 4630		FGLR-301 Versión 03 Página 1 de 1																																																								
CLIENTE:	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca	ORDEN SERVICIO No.: 858																																																								
OBRA:	Ladrillera Popayán																																																									
LOCALIZACIÓN OBRA:	Municipio de Popayán - Departamento del Cauca																																																									
CONTRATISTA:	N.A																																																									
INTERVENTORÍA:	N.A																																																									
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café																																																									
FUENTE:	N.S																																																									
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S																																																									
FECHA DE RECIBO:	02-jul-2020	FECHA DE ENSAYO: 04-jul-2020																																																								
MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO:	Seco																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">DATOS LIMITE LIQUIDO</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">DATOS LIMITE PLÁSTICO</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Prueba No.</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">Prueba N°</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero de golpes</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: center;">35</td> <td>Tara N°</td> <td style="text-align: center;">813</td> <td style="text-align: center;">822</td> </tr> <tr> <td>Tara N°</td> <td style="text-align: center;">222</td> <td style="text-align: center;">248</td> <td style="text-align: center;">402</td> <td>Masa húmeda + tara.g</td> <td style="text-align: center;">33,34</td> <td style="text-align: center;">35,22</td> </tr> <tr> <td>Masa húmeda + tara.g</td> <td style="text-align: center;">40,78</td> <td style="text-align: center;">36,34</td> <td style="text-align: center;">39,48</td> <td>Masa Seca + tara.g</td> <td style="text-align: center;">29,02</td> <td style="text-align: center;">30,54</td> </tr> <tr> <td>Masa Seca + tara.g</td> <td style="text-align: center;">30,71</td> <td style="text-align: center;">26,74</td> <td style="text-align: center;">28,82</td> <td>Masa de Tara.g</td> <td style="text-align: center;">15,70</td> <td style="text-align: center;">16,25</td> </tr> <tr> <td>Masa de Tara.g</td> <td style="text-align: center;">16,74</td> <td style="text-align: center;">12,75</td> <td style="text-align: center;">11,82</td> <td>Humedad, %</td> <td style="text-align: center;">32,4</td> <td style="text-align: center;">32,8</td> </tr> <tr> <td>Humedad, %</td> <td style="text-align: center;">72,08</td> <td style="text-align: center;">68,62</td> <td style="text-align: center;">64,64</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DATOS LIMITE LIQUIDO				DATOS LIMITE PLÁSTICO			Prueba No.	1	2	3	Prueba N°	1	2	Numero de golpes	16	24	35	Tara N°	813	822	Tara N°	222	248	402	Masa húmeda + tara.g	33,34	35,22	Masa húmeda + tara.g	40,78	36,34	39,48	Masa Seca + tara.g	29,02	30,54	Masa Seca + tara.g	30,71	26,74	28,82	Masa de Tara.g	15,70	16,25	Masa de Tara.g	16,74	12,75	11,82	Humedad, %	32,4	32,8	Humedad, %	72,08	68,62	64,64			
DATOS LIMITE LIQUIDO				DATOS LIMITE PLÁSTICO																																																						
Prueba No.	1	2	3	Prueba N°	1	2																																																				
Numero de golpes	16	24	35	Tara N°	813	822																																																				
Tara N°	222	248	402	Masa húmeda + tara.g	33,34	35,22																																																				
Masa húmeda + tara.g	40,78	36,34	39,48	Masa Seca + tara.g	29,02	30,54																																																				
Masa Seca + tara.g	30,71	26,74	28,82	Masa de Tara.g	15,70	16,25																																																				
Masa de Tara.g	16,74	12,75	11,82	Humedad, %	32,4	32,8																																																				
Humedad, %	72,08	68,62	64,64																																																							
<table border="1" style="width: 60%; margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Limite Líquido, %</td> <td style="text-align: center;">68,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Limite plástico, %</td> <td style="text-align: center;">32,6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Índice plasticidad, %</td> <td style="text-align: center;">35,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">CLASIFICACIÓN, SUCS</td> <td style="text-align: center;">CH</td> </tr> </tbody> </table>			Limite Líquido, %	68,0	Limite plástico, %	32,6	Índice plasticidad, %	35,4	CLASIFICACIÓN, SUCS	CH																																																
Limite Líquido, %	68,0																																																									
Limite plástico, %	32,6																																																									
Índice plasticidad, %	35,4																																																									
CLASIFICACIÓN, SUCS	CH																																																									
 <p style="text-align: center;">CURVA DE FLUIDEZ $y = -9,493\ln(x) + 98,529$</p>																																																										
OBSERVACIONES:	Muestra y datos suministrados por el cliente.																																																									
REVISO	APROBO																																																									
KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ GEOTECNOLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAU	 FERNANDO MUÑOZ FUENTES SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19516001294CAU																																																									
ESTE RESULTADO PRODUCE EFECTOS JURÍDICOS ÚNICAMENTE SI LA MOSTRA DE TRAZADO AL LABORATORIO Y GUBERNACIÓN EN SU VIGENCIA ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO																																																										


6.4 Anexo 4. Resultados análisis de la Arcilla Inorgánica 2 (AI2)



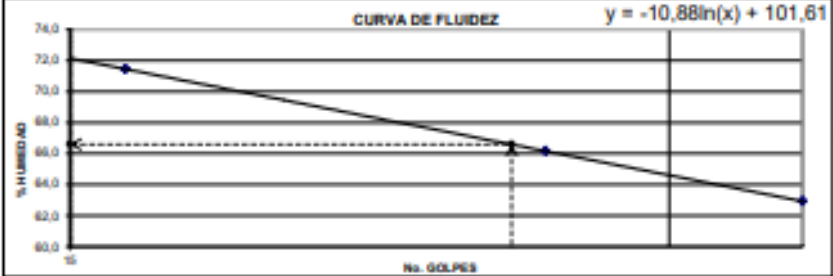

GEOFISICA SAS
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos
BVL 08124188-6



ISO 9001
Icontec



CERTIFICADO
IQNet
MANAGEMENT SYSTEM

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, DEL PLÁSTICO Y DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS COHESIVOS NTC 4630				FGLR-301								
				Versión 03								
				Página 1 de 1								
CLIENTE:	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca		ORDEN SERVICIO No.:	858								
OBRA:	Ladrillera Popayán											
LOCALIZACIÓN OBRA:	Municipio de Popayán - Departamento del Cauca											
CONTRATISTA:	N.A.											
INTERVENTORÍA:	N.A.											
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café fuerte											
FUENTE:	N.S.											
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S.											
FECHA DE RECIBO:	02-jul-2020		FECHA DE ENSAYO:	04-jul-2020								
MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO:	Seco											
DATOS LIMITE LIQUIDO			DATOS LIMITE PLÁSTICO									
Prueba No.	1	2	3									
Numero de golpes	16	26	35									
Tara N°	341	612	218									
Massa húmeda + tara.g	34,39	32,40	41,54									
Massa Seca + tara.g	25,21	24,09	32,02									
Massa de Tara.g	12,36	11,53	16,89									
Humedad, %	71,44	66,16	62,92									
Prueba N°	1	2										
Tara N°	210	820										
Massa húmeda + tara.g	33,41	36,24										
Massa Seca + tara.g	28,88	31,53										
Massa de Tara.g	14,83	16,99										
Humedad, %	32,2	32,4										
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Limite Liquido, %</td> <td style="text-align: center;">66,6</td> </tr> <tr> <td>Limite plástico, %</td> <td style="text-align: center;">32,3</td> </tr> <tr> <td>Indice plasticidad, %</td> <td style="text-align: center;">34,3</td> </tr> <tr> <td>CLASIFICACIÓN, SUCS</td> <td style="text-align: center;">CH</td> </tr> </table>		Limite Liquido, %	66,6	Limite plástico, %	32,3	Indice plasticidad, %	34,3	CLASIFICACIÓN, SUCS	CH			
Limite Liquido, %	66,6											
Limite plástico, %	32,3											
Indice plasticidad, %	34,3											
CLASIFICACIÓN, SUCS	CH											
CURVA DE FLUIDEZ $y = -10,88\ln(x) + 101,61$												
												
OBSERVACIONES: Muestra y datos suministrados por el cliente.												
REVISÓ			APROBO									
KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ GEOTECNOLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAJ			 FERNANDO MUÑOZ FUENTES SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19516001294CAJ									
LOS RESULTADOS PRESENTAN TODA CORRESPONDENCIA DISCREPANTE A LA MUESTRA ENTREGADA AL LABORATORIO Y SOBRE TODO EL ENSAYO ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO												

6.5 Anexo 5: Resultados de resistencia a la compresión mecánica Mezcla No. 1 (Lodo:Arcilla)



MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN) Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA NTC 4017							FGLR-338
							Versión 04
							Página 1 de 1
CLIENTE:	Alejandra Gomez					ORDEN SERVICIO No.:	905
OBRA:	Proyecto de grado						
LOCALIZACIÓN OBRA:	Universidad Auonoma, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca						
CONTRATISTA:	N.A						
INTERVENTORÍA:	N.A						
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Ladrillo de lodo y arcilla					FUENTE:	N.S
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S						
FECHA DE RECIBO:	12-jul-2021				FECHA DE ENSAYO:	15-jul-2021	
TIPO DE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA: MACIZOS							
MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN)							
Muestra No.	OBRA	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Lectura de carga KN	Carga Kgf	MÓDULO DE ROTURA Kgf/cm²
MÓDULO DE ROTURA DEL LOTE=					Kgf/cm²		Mpa
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
Muestra No.	OBRA	Lado 1 cm	Lado 2 cm	ÁREA cm²	CARGA KN	CARGA Kgf	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kgf/cm²
1	Ladrillos 1-2-3 de lodo y arcilla	6,4	3,9	24,9	28,35	2890,8	116,3
2		6,4	3,9	25,2	27,65	2819,5	111,9
3		6,5	4,0	26,0	22,35	2279,0	87,6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LOTE=		105,3			Kgf/cm²	10,5	Mpa
ESPECIFICACIÓN							
REQUISITOS UNIDAD DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL NTC 4205	TIPO M	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESIÓN MPa (Kgf/cm2)					
	LADRILLO MACIZO	PROMEDIO 5 Unidades			Unidad		
		20,0 (200)			15 (150)		
REQUISITOS UNIDAD DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL NTC 4205	TIPO M	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESIÓN MPa (Kgf/cm2)					
	LADRILLO MACIZO	PROMEDIO 5 Unidades			Unidad		
		14,0 (140)			10 (100)		
OBSERVACIONES:	Muestra y datos suministrados por el cliente.						
REVISÓ				APROBÓ			
KAREN SOFÍA MOSQUERA GEOTECNÓLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAU				 FERNANDO MUÑOZ FUENTES SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19516001294CAU			
LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ENTREGADA AL LABORATORIO Y SOMETIDA A ENSAYO. ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO							

6.6 Anexo 6. Resultados de resistencia a la compresión mecánica Mezcla No.2 (Lodo:Arcilla:Arena)



MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN) Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA NTC 4017							FGLR-338
							Versión 04
							Página 1 de 1
CLIENTE:	Alejandra Gomez			ORDEN SERVICIO No.:	905		
OBRA:	Proyecto de grado						
LOCALIZACIÓN OBRA:	Universidad Auonoma, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca						
CONTRATISTA:	N.A						
INTERVENTORÍA:	N.A						
DESCRIPCIÓN MATERIAL:	Ladrillo de lodo, arcilla y arena			FUENTE:	N.S		
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:	N.S						
FECHA DE RECIBO:	12-jul-2021			FECHA DE ENSAYO:	15-jul-2021		
TIPO DE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA: MACIZOS							
MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN)							
Muestra No.	OBRA	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Lectura de carga KN	Carga Kgf	MÓDULO DE ROTURA Kgf/cm ²
MÓDULO DE ROTURA DEL LOTE=					Kgf/cm ²		Mpa
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
Muestra No.	OBRA	Lado 1 cm	Lado 2 cm	ÁREA cm ²	CARGA KN	CARGA Kgf	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kgf/cm ²
4	Ladrillos 4-5-6 de lodo, arcilla y arena	6,6	4,0	26,3	24,35	2483,0	94,3
5		6,5	3,9	25,4	19,30	1968,0	77,5
6		6,5	4,0	26,2	23,35	2381,0	90,9
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LOTE=		87,6			Kgf/cm ²	8,8	Mpa
ESPECIFICACIÓN							
REQUISITOS UNIDAD DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL NTC 4205	TIPO M	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION MPa (Kgf/cm2)					
	LADRILLO MACIZO	PROMEDIO 5 Unidades			Unidad		
REQUISITOS UNIDAD DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL NTC 4205	TIPO M	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION MPa (Kgf/cm2)					
	LADRILLO MACIZO	PROMEDIO 5 Unidades			Unidad		
		14,0 (140)			10 (100)		
OBSERVACIONES:	Muestra y datos suministrados por el cliente.						
REVISÓ				APROBÓ			
KAREN SOFÍA MOSQUERA GEOTECNÓLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAU				 FERNANDO MUÑOZ FUENTES SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19516001294CAU			
LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ENTREGADA AL LABORATORIO Y SOMETIDA A ENSAYO. ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO							