INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
Em ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)

DESEMPEÑO MECÁNICO DE BLOQUES DE TIERRA (BTC Y ADOBE) SIN CEMENTO Y CON ADICIÓN DE RCD

JULIA IVONNE ORJUELA

Foz do Iguazu

2025

INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Em ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)

JULIA IVONNE ORJUELA

Memorial de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel R. Cunha

Coorientador: Prof. Ingeniero Noé Villegas Flores

Foz do Iguazú

2025

DESEMPEÑO MECÁNICO DE BLOQUES DE TIERRA (BTC Y ADOBE) SIN CEMENTO Y CON ADICIÓN DE RCD

Memorial de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador: Prof. Dr. Gabriel R. Cunha

UNILA

_____

Professor Dr. Cesar Winter de Mello

UNILA

_____

Prof. Dr. Murad Jorge Mussi Vaz

UTFPR

Septiembre de 2025

Catalogação elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação
Catalogação de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

O69
Orjuela Guiott, Julia Ivonne Orjuela.
Desempeño mecánico de bloques de tierra (BTC y adobe) sin cemento y con adición de RCD / Julia Ivonne Orjuela Guiott. – Foz do Iguaçu, 2025.
86 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu-PR, 2025.
Orientador: Gabriel R. Cunha.
Coorientador: Noé Villegas Flores.

1. Bloques de tierra comprimida (BTC). 2. Adobe, Residuos de construcción y demolición (RCD). 3. Construcción sostenible. 4. Economía circular. I. Cunha, Gabriel R. II. Flores, Noé Villegas. III. Título.

CDU 691

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios y a mi familia en la fe, quienes han sido mi fortaleza espiritual y soporte incondicional durante este proceso de investigación.

De manera especial, expreso mi gratitud a mis padres y hermanos, pilares fundamentales de mi vida, cuyo ejemplo y respaldo han sido esenciales para alcanzar este logro. A mi hijo, Juan Sebastián Quiñones, por su invaluable apoyo como auxiliar en el laboratorio, y a mi hija, Vanessa Quiñones, por sus aportes y motivación constante.

Extiendo mis agradecimientos a mis coordinadores, Dr. Prof. Gabriel R. Cunha y Dr. Prof. Noé Villegas Flores, por el acompañamiento cercano y el apoyo incondicional brindado en el desarrollo de este proyecto, así como a mis profesores colombianos, José Hernando Torres y Amparo Hinestroza, por su guía y formación.

De igual manera, reconozco la colaboración de todo el equipo de trabajo del Laboratorio del Sector Sur, bajo la orientación de la profesora Paula Regina dos Santos, la Ingeniera Dalila Cristina Netto Sella, junto con los técnicos Wagner Pessoa Peixoto, Andrey Vinicius Nunes Neto y Eduardo Rigo, quienes contribuyeron de manera significativa a la ejecución de los ensayos y procedimientos experimentales.

Agradezco también a mis colegas Juan Pablo Rubio y Kathleen Dall Bello, por sus valiosos aportes académicos y discusiones técnicas que enriquecieron este trabajo.

Finalmente, extiendo un especial reconocimiento a las instituciones y empresas que hicieron posible la materialización de esta investigación: a Future Reciclagem Inteligente, ubicada en Cascavel/Paraná, por la donación de materiales de residuos de construcción y demolición (RCD), y al Laboratorio Terrano, por su valiosa colaboración en la realización de los ensayos de compresión de los cuerpos de prueba. Asimismo, agradezco a la Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) por el apoyo académico y la beca PROBIU, que contribuyó al desarrollo y fortalecimiento de este proyecto de investigación.

“La investigación consiste en ver lo que todo el mundo ha visto,
y pensar lo que nadie más ha pensado,
para encontrar lo que nadie ha descubierto”
Albert Szent-Györgyi

RESUMEN

El presente proyecto nace de la necesidad de buscar soluciones más responsables dentro de la construcción, especialmente frente a dos problemas que ya no pueden ignorarse: la acumulación de residuos de construcción y demolición (RCD) y la dependencia casi automática del cemento Portland. Con esa preocupación como punto de partida, se desarrollaron bloques de tierra comprimida (BTC) y adobes incorporando RCD, tratando de integrar el conocimiento tradicional con criterios técnicos actuales que permitan un uso más consciente de los materiales. Para ello, se diseñaron mezclas con diferentes proporciones de suelo y RCD (50/50, 60/40, 70/30 y 80/20), todas sin aglomerantes cementicios y siguiendo las normas ABNT NBR 8492:2012 y NBR 16814:2020. Después del moldeo y secado, las muestras fueron sometidas a ensayos de compresión para verificar su comportamiento mecánico. Entre todas, la mezcla 50/50 fue la que mejor desempeño mostró, alcanzando 1,94 MPa y cumpliendo con los valores mínimos exigidos por la normativa brasileña. Este resultado confirma que una proporción equilibrada favorece tanto la cohesión interna como la densificación del material. Más allá del valor técnico, el estudio evidencia que los RCD pueden convertirse en un insumo útil y no en un desecho problemático. Con ello, se abre la posibilidad de avanzar hacia líneas de investigación que fortalezcan prácticas constructivas más sostenibles y que aprovechen, con criterio, los recursos disponibles en el territorio.

Palabras clave: Bloques de tierra comprimida (BTC), Adobe, Residuos de construcción y demolición (RCD), Construcción sostenible, Economía circular.

ABSTRACT

This project stems from the need to find more responsible solutions in the construction industry, especially in the face of two problems that can no longer be ignored: the accumulation of construction and demolition waste (CDW) and the almost automatic reliance on Portland cement. With this concern as a starting point, compressed earth blocks (CEB) and adobe bricks incorporating CDW were developed, seeking to integrate traditional knowledge with current technical criteria that allow for a more conscious use of materials. To this end, mixtures were designed with different proportions of soil and CDW (50/50, 60/40, 70/30, and 80/20), all without cementitious binders and following the ABNT NBR 8492:2012 and NBR 16814:2020 standards. After molding and drying, the samples were subjected to compression tests to verify their mechanical behavior. Among all the mixtures tested, the 50/50 mix showed the best performance, reaching 1.94 MPa and meeting the minimum values required by Brazilian regulations. This result confirms that a balanced proportion favors both internal cohesion and material densification. Beyond the technical value, the study demonstrates that construction and demolition waste (CDW) can become a useful input rather than a problematic waste product. This opens the possibility of advancing research that strengthens more sustainable construction practices and makes judicious use of available resources in the region.

Keywords: Compressed earth blocks (BTC), Adobe, Construction and demolition waste (RCD), Sustainable construction, Circular economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de unidades de gestión de RCD en Brasil, por región 12

Figura 2. Diagrama de flujo de los procedimientos.....27

Figura 3. Perfil estratigráfico del local en estudio. 28

Figura 4. Maquina Trituración (RCD). 29

Figura 5. Proceso de tamiz manual y mecánico con el agitador eléctrico. a) Clasificación del material; b) Tamices metálicos; c) agitador electromecánico. 32

Figura 6. Proceso de tamiz manual. 32

Figura 7. Muestras para ensayo de granulometría RCD. 36

Figura 8. Proceso de tamizado y Mezcla.....39

Figura 9. Proceso de muestra experimentales RCD y suelo. 40

Figura 10. Proceso de prototipos.....42

Figura 11. Proceso de moldeados serie I 43

Figura 12. Preparación de cuerpos de prueba serie I.....45

Figura 13. Ensayo de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio de concretos de la ITAIPU.....47

Figura 14. Muestra sumergida en agua. 48

Figura 15. Producción de Bloques compactados mezcla modificada serie II. 50

Figura 16. Dimensiones del Adobe + RCD 52

Figura 17. Proceso de fabricación bloques de adobe.....53

Figura 18. Preparación cuerpos de prueba. serie II y adobes 54

Figura 19. Ensayo de compresión BTC serie II 55

Figura 20. Ensayo de compresión Adobe 56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción anual de RCD / aporte por persona. 11

Tabla 2. Resistencia a compresión (MPa).....21

Tabla 3. Normativa aplicada y ensayos de laboratorio. 30

Tabla 4. Tamiz utilizado. 31

Tabla 5. Resultado de ensayo granulometria lasser 33

Tabla 6. Resultado del límite de Atterberg, clasificación SUCS y masa específica de los sólidos.....35

Tabla 7. Composición química de los RCD y Tierra. 35

Tabla 8. Resultado de granulometría laser de la muestra de RCD. 36

Tabla 9. Masa especifica RCD. 38

Tabla 10. Diseño de mezcla. 39

Tabla 11. Mezcla prototipo. 41

Tabla 12. Información de la edad de los cuerpos de prueba.....46

Tabla 13. Diseño de mezclas de Tierra y RCD para cuerpos de prueba 49

Tabla 14. Resultados de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio de concretos de la ITAIPU. 57

Tabla 15. Resultados de compresión en el laboratorio de Concretos Terrano 59

Tabla 16. Resultados de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio De concretos Terrano. 62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva Granulométrica - Método Laser 34

Gráfico 2. Curva Granulométrica RCD1.2 Y 3 37

Gráfico 3. Resistencia a compresión bloques RCD frente a la norma NBR 8492 serie I 58

Gráfico 4. Resistencia a compresión serie II 60

Gráfico 5. Comparativo ensayo a compresión serie I y II. 61

Gráfico 6. Ensayo a compresión Adobe. 63

Gráfico 7. Comparativo de ensayos de BTC y Adobe 64

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AR – Agregado Reciclado

ARM – Agregado Reciclado Mixto

ASP – Adobe Secado al Sol (comparaciones experimentales)

BTC – Bloque de Tierra Comprimida

CAC – Concreto Autocompactante

CEB – Compressed Earth Block (denominación internacional de BTC)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Consejo Nacional del Medio Ambiente)

CP – Cuerpo de Prueba

E.080 – Norma Técnica Peruana de Diseño y Construcción con Adobe

EPA – Environmental Protection Agency (Estados Unidos)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México)

ISO – International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora (publicada por la ABNT)

Nspt – Número de golpes del Standard Penetration Test

ONU-HABITAT – Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos

PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (Brasil)

PGRCD – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição (Brasil)

RACCEFYN – Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

RCD – Residuos de Construcción y Demolición

SCS – Sistema de Clasificación de Suelos (en normas geotécnicas)

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil)

SNIS-RS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Resíduos Sólidos (Brasil)

SPT – Standard Penetration Test (Ensayo de Penetración Estándar)

SUCS – Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Brasil)

UNESP – Universidade Estadual Paulista (Brasil)

UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Brasil)

UPC – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (Perú)

UPN – Universidad Privada del Norte (Perú)

UCV – Universidad César Vallejo (Perú)

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN 9

1.1 JUSTIFICACIÓN Y LIMITACIONES 14

1.2 OBJETIVO GENERAL 17

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

1.4. HIPÓTESIS 17

1.5 ESTRUCTURA DE TRABAJO 18

CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 19

2.1.1 EL USO DE LA TIERRA EN LAS EDIFICACIONES 19

2.1.2 Historia y evolución del uso de la tierra en la construcción 19

2.1.3 Principales técnicas constructivas con tierra 20

2.1.4 Normativas y avances tecnológicos recientes 20

2.2. REUTILIZACIÓN DE RCD EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON TIERRA 22

2.2.1. BTC 22

2.2.2 Estudios de caso y experiencias en Brasil y Suramérica 23

2.3 ADOBE 23

2.3.1 Casos de estudio en Suramérica 24

CAPITULO III: METODOLOGÍA 26

3.1 Obtención del material 27

3.1.1 Suelo 27

3.1.2 Residuos de construcción y demolición (RCD) 29

3.1.3 Tamizaje 31

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES 33

3.2.1 Suelo 33

3.2.2 RCD.....35

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS 38

3.4 MODELADO I Y COMPACTACIÓN I 40

3.4.1 Cuerpos de prueba I.....43

3.5 ENSAYOS SERIE I 45

3.5.1. Ensayo de compresión 45

3.5.2 Ensayo de absorción de agua 47

3.6 MODIFICACIÓN DISEÑO DE MEZCLA (BTC) 49

3.6.1 Dosificación de mezcla BTC serie II 49

3 6.2 Modelado, compactación y secado (BTC) II 50

3.6.3 Diseño de mezclas adobes 51

3.6.4 Proceso de mezclado y moldeo de adobe.....52

3.6.5 Cuerpos de prueba II.....53

3.7 ENSAYOS SERIE II 54

3.7.1. Ensayo de compresión (BTC) Serie II 54

3.7.2 Ensayos de compresión adobe 55

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS.....57

4.1 RESULTADOS SERIE I 57

4.1.2 Ensayo de Compresión 57

4.2 RESULTADOS SERIE II.....58

4.2.1 Análisis (BTC) serie I y II 60

CAPITULO V: CONCLUSIONES.....66

5.1 PROYECCIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA.....67

REFERENCIAS.....69

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la construcción sostenible ha ganado relevancia como respuesta a la necesidad de mitigar el impacto ambiental del sector edificador. Entre las estrategias emergentes, destaca la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la fabricación de nuevos materiales. Esta práctica no solo contribuye a la reducción de residuos enviados a vertederos, sino que también disminuye la extracción de recursos naturales vírgenes, favoreciendo un ciclo de vida más eficiente y circular en los sistemas constructivos (PEREIRA; VIEIRA, 2022).

En este sentido, las tecnologías constructivas con tierra, utilizadas desde tiempos pasados, han retomado importancia como alternativas sostenibles en la arquitectura actual. Destacan por su bajo consumo energético durante la fabricación y por ofrecer buen rendimiento térmico y acústico (MORA-RUIZ et al., 2025) Entre los sistemas más empleados se encuentran la tapia, los bloques de tierra compactada y los adobes. Este último método ha sido revitalizado por su bajo impacto ambiental y su accesibilidad económica, lo que la hace viable tanto en entornos rurales como urbanos.

Una de las alternativas prometedoras en el ámbito de la construcción sostenible es el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la producción de nuevos materiales. Países ecológicamente adecuados utilizan la creatividad para reforzar su economía en todos los aspectos. Se ha hecho evidente que, en la medida en que ciertos tipos de residuos sean reforzados con un ingrediente adicional, el RCD recogerá la vitalidad mecánica natural (TAM; TAM, 2006). Se seguirá generando menos cantidad de sólidos de desecho y se ejercerá menos presión sobre los recursos característicos, lo que se comunica a un modelo eficaz y ecológicamente correcto.

En consecuencia, los Residuos de construcción y demolición son definidos como los materiales inertes resultantes de la construcción, demolición, renovación, restauración y reparación de estructuras y trabajos en edificaciones e infraestructura. Todos estos residuos son tierra, rocas, concreto, asfalto, ladrillos, yeso, vidrio, madera,

plásticos, barras de refuerzo entre otros elementos utilizados en la construcción (CONAMA, 2002).

Como resultado, varios países han implementado políticas destinadas a fomentar la prevención, la reutilización y el reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD), al fijar metas ambiciosas como el 70 % de reciclaje en la Unión Europea para 2020 (Comisión Europea, 2018). La evolución e implementación de tecnologías como la trituración y clasificación avanzada han permitido procesar eficientemente estos materiales. Sin embargo, aún existen barreras significativas, como la falta de concienciación y la ausencia de colaboración intersectorial (HART , 2019).

De modo que, el reciclaje de residuos de construcción y demolición presenta evidentes beneficios ambientales y económicos. Su reciclaje reduce la acumulación de derechos en verteros y el uso de recursos naturales. Además, ayuda a reducir las emisiones contaminantes investigaciones confirman que los áridos reciclados no comprometen el rendimiento estructural (Xiao, 2012). La Unión Europea apoya su uso en la economía circular (Comisión Europea, 2018).

En este contexto, la generación de residuos de construcción y demolición varía notablemente, en Colombia se producen cerca de 18 millones de toneladas anuales de Residuos de construcción y demolición. Es decir, alrededor de 340 kg por persona. Se estima que solo el 20 % de los RCD pasibles de reutilización son reciclados. Los datos anteriormente presentados evidencian las fallas en las políticas actuales. Por tal razón, es necesario implementar estrategias de manejo sostenible, que prioricen el reciclaje y la economía circular. (QUIROGA, 2024).

Igualmente, se estima que en México cada habitante genera aproximadamente 500 kg de residuos de construcción y demolición (RCD) al año (SILVA et al., 2023). Considerando que la población proyectada en 2023 alcanza los 126 millones de personas (INEGI, 2023), el volumen total de RCD en el país resulta significativo. Esta magnitud subraya la necesidad de estrategias nacionales para su gestión sostenible

y valorización. En la Tabla 1 se evidencia la producción de RCD anual en América Latina y Europa.

Tabla 1. Producción anual de RCD / aporte por persona.

Región/País	Producción Total de RCD (anual)	Aporte per cápita (kg/persona/año)
Europa	374 millones de toneladas	820
Estados Unidos	600 millones de toneladas	1,800
México	12 millones de toneladas	95
Colombia	18 millones de toneladas	370
Brasil	48 millones de toneladas	227
Paraná	5,9 millones de toneladas	440
Foz de Iguazú	0.05 millones de toneladas	350

Fuente: EPA; INEG; IBGE, 2025.

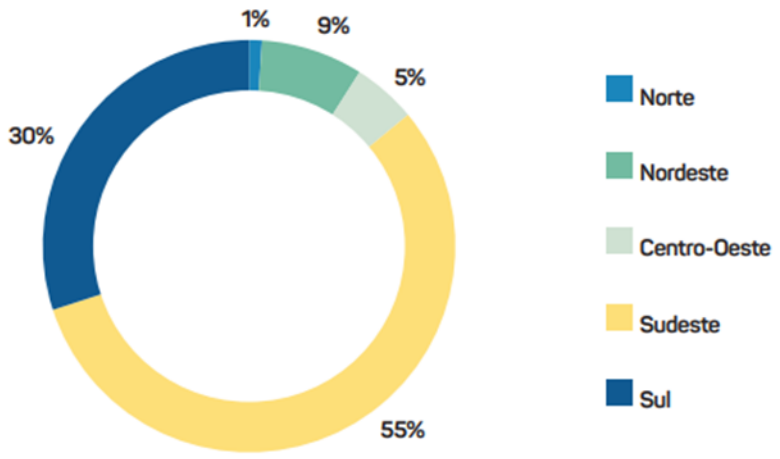
En relación con lo anterior, el problema de los residuos de construcción y demolición es cada vez más relevante en América Latina. Impulsado por la acelerada urbanización, la mala gestión de los RCD resulta en riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Brasil produce docenas de millones de toneladas de estos residuos cada año, hasta un 70 % de los desechos municipales en algunos casos; Por lo tanto, se necesita una política y tecnología sostenibles (ESGUÍCERO et al., 2021).

En cuanto al marco internacional, el Real Decreto 105/2008 de España regula la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), asignando obligaciones a productores y poseedores, como su recolección y tratamiento adecuados. La competencia corresponde a las comunidades autónomas, salvo excepciones como obras domésticas menores (ESPAÑA, 2008).

En el caso de Brasil, la legislación brasileña contempla la Ley Federal n.º 12.305/2010, que establece directrices para la gestión de residuos sólidos. Para el análisis de la situación nacional, se recopiló información de fuentes como el Diagnóstico SNIS, el Panorama dos Residuos Sólidos no Brasil de ABRELPE y el Portal Nacional de Licencias Ambientáis, cuyos resultados se presentan en el siguiente (ABRELPE, 2022).

A partir de estos datos el análisis de la distribución regional de unidades de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Brasil revela una concentración significativa en la región Sudeste (55 %), seguida por el Sur (30 %) (SNIS-RS, 2019). Las regiones Norte, Nordeste y Centro-Oeste presentan una participación considerablemente menor. Estos datos, representados en la Figura 1, reflejan desequilibrios estructurales en la infraestructura de gestión de RCD en el país.

Figura 1. Distribución de unidades de gestión de RCD en Brasil, por región



Fuente: SNIS-RS, 2019 (año-base 2018).

Desde una perspectiva operativa, Los datos indican que el 45,4 % de las unidades de reciclaje de RCD en Brasil operan por debajo de su capacidad, produciendo 431.500 m³/mes frente a un potencial de 958.000 m³ (ABRECON, 2015). La exigencia de cumplir con las normas NBR 15.115/2004 y 15.116/2004 obliga a incorporar tecnologías certificadas. Los principales compradores de estos materiales reciclados son empresas constructoras y entes públicos (ABRELPE, 2022).

En relación con la magnitud del volumen generado, alrededor de 48 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) se producen anualmente en Brasil, lo que representa aproximadamente 227 kg por habitante al año. Esta cifra refuerza la urgencia de aplicar políticas y prácticas sostenibles para

una gestión eficiente de los RCD, así como el impulso a una economía circular en el sector de la construcción (MOVIMENTO CIRCULAR, 2024).

A escala local, el crecimiento demográfico y la expansión urbana en Foz do Iguazú han incrementado la demanda de recursos naturales, provocando ocupación territorial desordenada y problemas ambientales, agravados por la disposición inadecuada de RCD. En respuesta, el Decreto Municipal n.º 24.774/2016 estableció procedimientos para aplicar los planes de gestión de residuos de construcción y demolición (PGRCC y PGRCD), fortaleciendo el compromiso con la sostenibilidad (GRZECZECZEN GONÇALVES, 2021).

Bajo este enfoque, el proyecto propone desarrollar un prototipo de muros de tierra compactada con bloques o adobe que incorpore escombros de construcción y demolición (RCD) sin utilizar cemento Portland. Considerando el alto contenido de carbono de este material, se sugiere una alternativa más sostenible que promueve la economía circular y la reducción de emisiones (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Lo anterior se relaciona con la creciente necesidad de espacio físico y recursos naturales, agravada por la expansión urbana y el manejo inadecuado de los RCD. La ocupación desordenada del territorio genera problemas sociales y ambientales en Foz do Iguazú. En respuesta, el Decreto Municipal n.º 24.774/2016 estableció los planes PGRCC y PGRCD, orientados a una gestión responsable (GRZECZECZEN GONÇALVES, 2021).

En este contexto de desafíos urbanos y ambientales, se plantean soluciones constructivas sostenibles que aprovechan materiales locales y técnicas tradicionales. Entre estas destaca el adobe, usado desde tiempos precoloniales por su eficiencia térmica, bajo impacto ambiental y adaptabilidad a los recursos regionales (CÁRDENAS-GÓMEZ et al., 2021).

Aunque ha sido desplazado por materiales industrializados, el adobe persiste en zonas rurales de México, Perú, Colombia y el noreste brasileño. Esta continuidad

ha permitido conservar saberes ancestrales que, actualmente, cobran valor en la arquitectura sostenible por su bajo impacto y potencial técnico (ASPÍLLAGA, 2024).

En este sentido, (Mercader-Moyano et al. (2021), destaca que los RCD pueden emplearse como agregados en mezclas de adobe, mejorando su resistencia sin perder cualidades bioclimáticas. La integración de esta técnica tradicional con residuos reciclados favorece la lógica de economía circular, especialmente en ciudades como Foz do Iguazú.

Por consiguiente, revitalizar y modernizar el uso del adobe no solo contribuye a reducir la huella ecológica del sector de la construcción, sino que también refuerza identidades culturales, impulsa economías locales y ofrece soluciones sostenibles adaptadas a contextos latinoamericanos vulnerables al cambio climático (RIVERA-SALCEDO et al., 2021).

1.1 Justificación y Limitaciones

En este contexto, en la transición hacia prácticas constructivas más sostenibles, el uso de materiales alternativos, como bloques de tierra comprimida y adobe, combinado con residuos de construcción y demolición representa una estrategia prometedora para reducir la huella de carbono en un 50% del sector. (SHAJIDHA et al., 2025).

Esta combinación disminuye la presión sobre los recursos naturales y, al mismo tiempo, contribuye al aprovechamiento de los residuos que saturarían los vertederos urbanos (OLIVEIRA et al., 2023).

La incorporación de RCD en la producción de BTC y adobe puede mejorar propiedades como la resistencia a la compresión, siempre que se respeten las normativas técnicas vigentes. En el caso de los BTC, se deben seguir los requisitos de la NBR 8492:2012, mientras que los adobes deben cumplir con los criterios establecidos en la NBR 16814:2020 (ABNT, 2012; ABNT, 2020). Esta adecuación

normativa refuerza el enfoque de economía circular y sostenibilidad en la construcción civil.

Además, el BTC se caracteriza por su capacidad de aislamiento térmico, lo que puede aumentar la eficiencia energética de los edificios hasta en un 30% (Comisión Europea, 2018). No obstante, es necesario investigar más sobre sus propiedades mecánicas cuando se mezcla con RCD.

La utilización de BTC con RCD también favorece la construcción de viviendas viables en comunidades de bajos ingresos, al proporcionar materiales más accesibles y al mismo tiempo reducir la dependencia de insumos industrializados (BREDENOORD, 2023). Esta solución también contribuye a la dinamización de economías locales mediante la utilización de suelos y residuos del entorno.

La técnica del adobe, tradicional en diversas regiones de América Latina, se perfila como una solución viable por su bajo impacto ambiental y fácil adaptación a distintos contextos climáticos (CUNHA et al., 2022). Aunque ha sido marginada en algunos entornos urbanos, la incorporación de RCD puede revitalizar su uso mediante la mejora de propiedades mecánicas, como lo evidencia (Da Silva, S. R.; Andrade, J. J. de O. 2022).

Investigaciones como la de (Chávez, 2024) señalan que el uso de RCD en adobes puede generar estructuras más resistentes y menos vulnerables. Resaltan su aplicabilidad en zonas rurales siempre que se utilicen técnicas adecuadas de curado y protección contra la humedad.

El uso de RCD también representa una oportunidad para reducir costos, fomentar el empleo local y disminuir la dependencia de insumos industrializados. Esta propuesta se alinea con las directrices de (ONU-HABITAT ,2020), enfocadas en la gestión integral de residuos y la promoción de soluciones habitacionales sostenibles.

Finalmente, recalcamos las limitaciones del tema que estamos tratando, abajo descritas:

- En primer lugar, la variabilidad de las propiedades de los RCD puede tener propiedades físicas y químicas variables, lo que puede afectar la estabilidad y resistencia de los BTC.
- Asimismo, en la elaboración de BTC con RCD se requiere tecnologías y equipos específicos para procesar y mezclar los materiales, lo que puede ser un desafío en áreas con recursos limitados.
- Otro punto a considerar es el impacto en la calidad del suelo más la adición de RCD puede afectar la calidad del suelo, lo que puede influir en la estabilidad y resistencia de los bloques de tierra comprimida.
- Además, la disponibilidad de RCD en Foz Iguazú. No cuenta con una planta trituradora de RCD. La oferta de RCD puede ser limitada en algunas áreas, lo que puede afectar la viabilidad del proyecto.
- La resistencia a la compresión de los BTC con RCD puede ser limitada por la calidad de los materiales y la tecnología utilizada en su elaboración.
- La gestión inadecuada de los RCD constituye una limitación relevante, ya que puede generar problemas de salud pública derivados de la exposición a materiales peligrosos y de la contaminación del agua y del suelo.
- Las estructuras económicas y ambientales en la economía local, la producción de BTC con RCD puede generar empleos y apoyar la economía local, pero también puede generar costos y desafíos para la industria de la construcción.
- En este mismo contexto La elevada humedad y las fuertes lluvias disminuyen la longevidad del adobe sin una adecuada protección como aleros o zócalos. Además, la limitada mano de obra formada restringe su uso en gran escala y pone en riesgo la calidad y la factibilidad de construcción del sistema.
- Por último, la percepción social negativa de los materiales no convencionales sigue siendo un obstáculo para su adopción, especialmente en entornos urbanos donde materiales industriales como los bloques de hormigón y el ladrillo cerámico son más comunes. Es necesario acompañar la investigación técnica con procesos de sensibilización y capacitación comunitaria que visibilicen los beneficios y las condiciones de uso adecuadas del adobe con RCD.

- Para finalizar, las restricciones técnicas, logísticas, ambientales y socioculturales que implican el uso de RCD en BTC y adobe necesitan un cuidado completo. Elementos como la diversidad de los materiales, la ausencia de tecnología, poca formación y una percepción desfavorable impactan su factibilidad, demandando estrategias de investigación, formación y adaptación al entorno sostenibles.

1.2 Objetivo general

Evaluar el desempeño mecánico de bloques de tierra (BTC y Adobe) sin cemento y con adición de RCD.

1.3. Objetivos específicos

a) Diseñar composiciones experimentales con diferentes proporciones de tierra y RCD, orientadas a la fabricación de bloques tipo BTC y adobes estabilizados.

b) Evaluar las propiedades mecánicas del prototipo, como su resistencia a la compresión y su durabilidad.

c) Proyectar una alternativa al bloque/ladrillo tradicional para aprovechar los desechos e implementar unas prácticas de construcción sostenibles.

1.4. Hipótesis

Se ha planteado que es posible evaluar el desempeño bloques de tierra cruda, tanto BTC como adobes, incorporando residuos de construcción y demolición (RCD), que reúnan propiedades físicas y mecánicas compatibles con su uso en sistemas constructivos sostenibles. Mediante una mezcla optimizada y un proceso de fabricación adaptado a estándares técnicos brasileros, estos materiales pueden ofrecer resistencia, estabilidad y durabilidad adecuadas para contextos urbanos y rurales.

Esta alternativa contribuye a reducir el impacto ambiental del sector, fomentar el uso de tecnologías tradicionales mejoradas y ampliar el acceso a soluciones constructivas de bajo costo y bajo impacto ambiental.

1.5 Estructura de trabajo

El desenvolvimiento de esta investigación está estructurado en cinco capítulos. El Capítulo 1 presenta la introducción general al tema, así como la justificación, las limitaciones, el objetivo general, los objetivos específicos, la hipótesis y el cronograma de desarrollo del proyecto. En el Capítulo 2, se expone el marco teórico que sustenta la investigación, abordando conceptos clave sobre construcción sostenible, economía circular, características técnicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) y adobe, tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) e investigaciones recientes relacionadas. El Capítulo 3 describe la metodología adoptada, incluyendo la selección de materiales, diseño de mezclas, proceso de fabricación, realización de ensayos físicos y mecánicos, así como los criterios de evaluación técnica y análisis de datos. El Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos y su discusión, considerando el comportamiento de los materiales desarrollados, su adecuación normativa y su contribución al contexto de la construcción sostenible.

Finalmente, el Capítulo 5 ofrece las conclusiones generales del estudio, el alcance de la hipótesis planteada, recomendaciones para investigaciones futuras y posibles aplicaciones prácticas en políticas públicas y proyectos de vivienda social en América Latina.

CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 El uso de la tierra en las edificaciones

En el campo de la edificación, la ingeniería de tierras ha sido una práctica común desde tiempos antiguos. Su uso se extiende desde las primeras civilizaciones hasta nuestros días. La tierra, un recurso natural abundante, sobresale por sus propiedades de aislamiento térmico, su reducido impacto en el medio ambiente y su capacidad de adaptación a diversos climas. Debido a la crisis climática y la falta de recursos, se ha vuelto a dar importancia a su uso en los debates sobre sostenibilidad y resistencia en la construcción (SINHA, 2025).

2.1.2 Historia y evolución del uso de la tierra en la construcción

Desde hace más de diez mil años, culturas antiguas en Mesopotamia, Egipto y América usaron el barro para levantar casas, templos y bodegas. Su manejo del calor y su conveniencia fueron claves para que se usara tanto (MADUABUM, 2024).

Técnicas como el adobe (bloques moldeados y secados al sol), el tapial (tierra apisonada) y el Cob (mezcla plástica moldeada en sitio) surgieron independientemente en diferentes países. Estas formas constructivas combinaban conocimientos prácticos con materiales locales (MORA-RUÍZ et al., 2025).

En América Latina, estas técnicas fueron adoptadas por culturas como los Incas, los pueblos amazónicos y comunidades rurales. En la época colonial, se combinaron con técnicas europeas, mejorando la durabilidad y generando sistemas híbridos que aún persisten (COCCO; BRANDO; SPACONE, 2022).

Estudios recientes confirman que las construcciones en tierra pueden resistir eventos sísmicos si se integran refuerzos adecuados y diseños antisísmicos. En ciudades como Cusco (Perú), las viviendas patrimoniales en adobe han resistido múltiples terremotos, lo que demuestra su adaptabilidad (SUMERENTE et al., 2020).

2.1.3 Principales técnicas constructivas con tierra

En muchas culturas y épocas, las técnicas de construcción con tierra han sido esenciales, adaptándose a contextos sociales, climáticos y tecnológicos. El tapial, el adobe y bloques de tierra (BTC) son algunas de las técnicas más relevantes que combinan principios tradicionales con avances tecnológicos modernos (BAILLY et al., 2024).

Tapial - El tapial utiliza tierra húmeda compactada en moldes para construir paredes densas y con alta resistencia al calor. El uso de estabilizantes naturales como la cal o fibras vegetales mejora su eficiencia energética y estabilidad (LOPEZ-REBOLLO et al., 2024).

Adobe - El adobe se compone de bloques fabricados a partir de tierra, arena y a veces fibras de origen vegetal, modelados de manera manual y secados al sol. En Brasil, la norma ABNT NBR 16814:2020 establece su composición (arena del 45 al 65 %, arcilla del 25 al 35 %). Investigaciones actuales indican que la adición de fibras como sisal o paja incrementa su resistencia y dureza mecánica (GOMES et al., 2024).

Bloques de Tierra Comprimida (BTC) - Los BTC se producen a través de la mezcla mecánica de suelo con un estabilizante (cemento, cal), lo que genera bloques homogéneos con resistencia de 2 a 3 MPa o superior, alta durabilidad y escaso uso de energía (JUNIOR; TEIXEIRA; MATEUS, 2024).

2.1.4 Normativas y avances tecnológicos recientes

En Brasil, los estándares ABNT NBR 16814:2020 (para el adobe) y NBR 8492:2012 (para el BTC) definen criterios de resistencia mecánica y dosis. Las últimas investigaciones evidencian una convergencia con normas internacionales en cuanto a compactación y control granulométrico en bloques de tierra (TURCO et al., 2024).

Las instituciones educativas federales de Brasil, tales como UFERSA y la UNESP, llevan a cabo iniciativas para maximizar la utilización del suelo local en BTC

y adobes consolidados. Comprende ensayos de resistencia a la compresión y pruebas de durabilidad utilizando estabilizadores como cal, fibras o cenizas (SALAH EDDINE MOKEDDEM et al., 2024).

Investigaciones actuales analizan los estabilizantes biológicos (guar, mucílagos, caseína) como opción ecológica frente al cemento. Estos potencian la resistencia al deterioro debido a la humedad y la unión interna de los bloques, en particular ante ciclos húmedos-secos (KULSHRESHETHA et al., 2022).

También se han experimentado con ceniza de bio-procesos industriales y desechos agrícolas (como la palma datilera o las fibras de caña) como estabilizantes secundarios. Se consiguen resistencias medias de 2 a 3 MPa y una mayor resistencia térmica sin aumentar la huella ambiental (PEDERSON et al., 2024).

Asimismo, en el Perú, (VIRGILIO, 2018) evaluó adobes estabilizados con cal apagada en la región de Cajamarca, aplicando tres proporciones distintas (5 %, 12 % y 18 %) conforme a la Norma Técnica E.080. Los resultados evidenciaron que mayores porcentajes de cal reducen la resistencia del adobe, lo cual exige ajustes metodológicos para optimizar su desempeño estructural.

Cunha y Seolin (2022) realizaron muestras de tierra de Foz do Iguazú mirando la producción de tapia (tapia pisada) para viviendas. En laboratorio, sometieron tres mezclas a ensayos de compresión axial, conforme a la Tabla 2.

Tabla 2. Resistencia a compresión (MPa).

No. BTC	Muestras	Resistencia a compresion (MPa)
1 y 2	3kg tierra; 400ml agua	1,95
3 y 4	3kg tierra; 100g cemento; 450ml agua	1,4
5 y 6	1,5kg tierra; 1,5kg arena; 100g cemento; 400ml agua	1,91

Fuente: Cunha e Seolin, 2022.

Los ensayos de resistencia de los bloques mostraron valores cercanos a la mínima compresión exigida por la NBR 10834 (2013), con promedios de 2 MPa y mínimos de 1,7 MPa a los 28 días. Dos mezclas superaron estos valores, destacando

que la tierra sin aditivos alcanzó la mejor resistencia. En la mezcla con cemento, la resistencia disminuyó, posiblemente por la competencia de hidratación entre cemento y arcilla, afectando la cohesión del material.

Finalmente, en la mezcla 3, la adición de arena y reducción de arcilla favoreció la hidratación del cemento y mejoró su adherencia. No obstante, la resistencia final fue similar a la obtenida con suelo sin aditivos.

2.2. Reutilización de RCD en sistemas constructivos con tierra

La mezcla de residuos de construcción y demolición (RCD) en materiales de tierra, como los bloques comprimidos (BTC), apoya la economía circular y disminuye el impacto ambiental. Estudios recientes muestran que arcillas de excavación y áridos cerámicos reciclados pueden ser reutilizados para producir BTC con resistencias mecánicas adecuadas y menor consumo energético (TUĞALAN; YENİGÜN, 2023).

2.2.1. BTC

Desde finales del siglo XX se ha vuelto relevante el empleo de residuos de construcción y demolición (RCD) en la construcción debido a los impactos ambientales que genera su gestión inadecuada. En un principio eran desechados, iban a parar a vertederos, contaminando y llenando espacios. Hoy en día su reutilización se fomenta en políticas de economía circular (GHERMAN et al., 2023).

La creciente preocupación ambiental impulsó estudios sobre el reciclaje de RCD, evidenciando su potencial en concreto y otros materiales. Avances en trituración y clasificación permitieron obtener agregados reciclados de alta calidad, integrables en nuevas construcciones (BRAVO-GERMAN et al., 2021).

Los residuos de construcción y demolición (RCD) se pueden clasificar en áridos cerámicos, de hormigón y pétreos. Después de procesos de trituración, cribado y lavado, se obtienen agregados reciclados capaces de elaborar BTC, adobes y suelo-

cemento con porcentajes de sustitución entre 10 % y 50 % y buenas propiedades mecánicas (COTTRELL; ALI; ETIENNE, 2024).

2.2.2 Estudios de caso y experiencias en Brasil y Suramérica

En Brasil y otros países sudamericanos se han desarrollado con éxito micro circuitos móviles de reciclaje de RCD en municipios medianos, generando agregados reciclados para BTC y bloques suelo-cemento. Estudios técnicos han verificado resistencias a la compresión superiores a 2 MPa y en conformidad con estándares como ABNT NBR 8492 y NBR 15116 (CRUZ; JOSÉ ALEXANDRE BOGAS, 2024).

En Argentina se utilizó arena residual y arcilla minera para elaborar adobes y BTC de alto rendimiento mecánico (> 30 kgf/cm² en compresión). Los resultados muestran que, con la dosificación adecuada (1 % paja y cemento), estos materiales son viables para la construcción estructural en áreas rurales (CABRERA; LOSA; DARRÁS, 2023).

En Colombia, los agregados reciclados de RCD pueden sustituir parcialmente a los naturales si se controlan absorción y granulometría, para utilizarlos en concretos prefabricados y pavimentos (MEJÍA-DE-GUTIÉRREZ et al., 2023).

El concreto autocompactante (CAC) con agregado reciclado y finos de RCD puede satisfacer flujo, resistencia y estabilidad controlando relación agua/finos y aditivos, disminuyendo el impacto ambiental (SILVA-URREGO; BENAVIDES; ESPINOSA, 2021).

El agregado grueso reciclado mixto (AR). Con el control de la parte cerámica, el lavado y la impregnación, el AR mixto consiguió resistencias adecuadas para uso estructural, cumpliendo con la ABNT NBR 15116:2021 (LIMA, 2024).

2.3 Adobe

Desde hace más de 5.100 años en la costa norte del Perú, la evidencia geo arqueológica indica que las primeras edificaciones monumentales en adobe se

construyeron en Los Morteros con ladrillos moldeados en depósitos naturales de arcilla acumulados durante inundaciones del fenómeno climático del Niño. Estas estructuras son los restos más antiguos de arquitectura en adobe en América, relacionados con arquitectura monumental ceremonial y sofisticación tecnológica en el uso de tierra como material de construcción. (MAURICIO et al., 2021).

El adobe es un bloque de tierra moldeada y secada al sol, de baja conductividad térmica y alta capacidad de almacenamiento de calor, que le otorga mayor inercia térmica que el concreto, pero menor resistencia a la tensión (FÉLIX JOVÉ-SANDOVAL; GARCÍA-BAÑOS; M. MAR BARBERO-BARRERA, 2023). Su densidad, dependiente de la cantidad de materia orgánica o fibras que contenga, incide en su comportamiento térmico y mecánico. La elaboración consiste en elegir la tierra, mezclarla con agua y posibles estabilizantes o fibras, moldearla y dejarla secar al aire libre antes de utilizarla en la construcción.

Para fortalecer la resistencia del adobe se utilizan estabilizantes como cal, fibras vegetales, cenizas y escombros de construcción y demolición (RCD). Estos aditivos disminuyen la absorción de agua y mejoran la cohesión de la mezcla. Estudios recientes señalan que el empleo de materiales reciclados (vidrio molido o chamote) favorece la economía circular y reduce el impacto ambiental (ROJAS MEGO, 2023).

En Brasil, la NBR 16814:2020 define exigencias para adobes, como resistencia mínima a la compresión, absorción y dimensiones. En Perú, la norma E.080 estipula el uso de suelos en edificaciones, métodos de ensayo y criterios de diseño. Estas normas fomentan la seguridad estructural y la durabilidad del material en diferentes climas.

2.3.1 Casos de estudio en Suramérica

La Universidad peruana de ciencias aplicadas (UPC) probó que el adobe tradicional mejora sus propiedades físicas y/o mecánicas al adicionarle residuos (RCD) y 5 % de engrudo de almidón de yuca controlado en dosis y secado. Se

especifican las mezclas, los ensayos y los criterios de aceptación en relación con la muestra patrón (MUÑOZ, 2022).

En Cajamarca se midió la resistencia a compresión y flexión de adobes con residuos de ladrillo de arcilla de demolición (5-15 %). Con las dosificaciones adecuadas, el material mejoró sus propiedades mecánicas en comparación con el patrón y es viable para utilizarse en vivienda social (Díaz Vera; González Escalante; Velásquez Huayta, 2024).

Adobes estabilizados con fibras vegetales, chamote (desecho cerámico molido de alfarería) y ceniza volante, mejorando su cohesión y propiedades mecánicas en relación al adobe base; se describen métodos de mezcla y ensayo. (UKWIZAGIRA; MBEREYAHO, 2023).

En Jaén (Perú) se estudió la influencia del vidrio molido de botellas de cerveza en adobes y se comparó su resistencia a la compresión con adobes convencionales. Los resultados mostraron mejoras en cohesión y pequeña disminución en absorción de agua, lo que la hace viable como estabilizante sostenible (FERNÁNDEZ; PIERRE, 2022).

(Guevara, 2021) evaluó adobes con 5 % y 15 % de residuos, analizando su desempeño mecánico y físico frente a modelos tradicionales. La adición de residuos mejoró la cohesión y estabilidad dimensional sin afectar de forma relevante la resistencia a compresión, aportando bases para la producción sostenible en contextos.

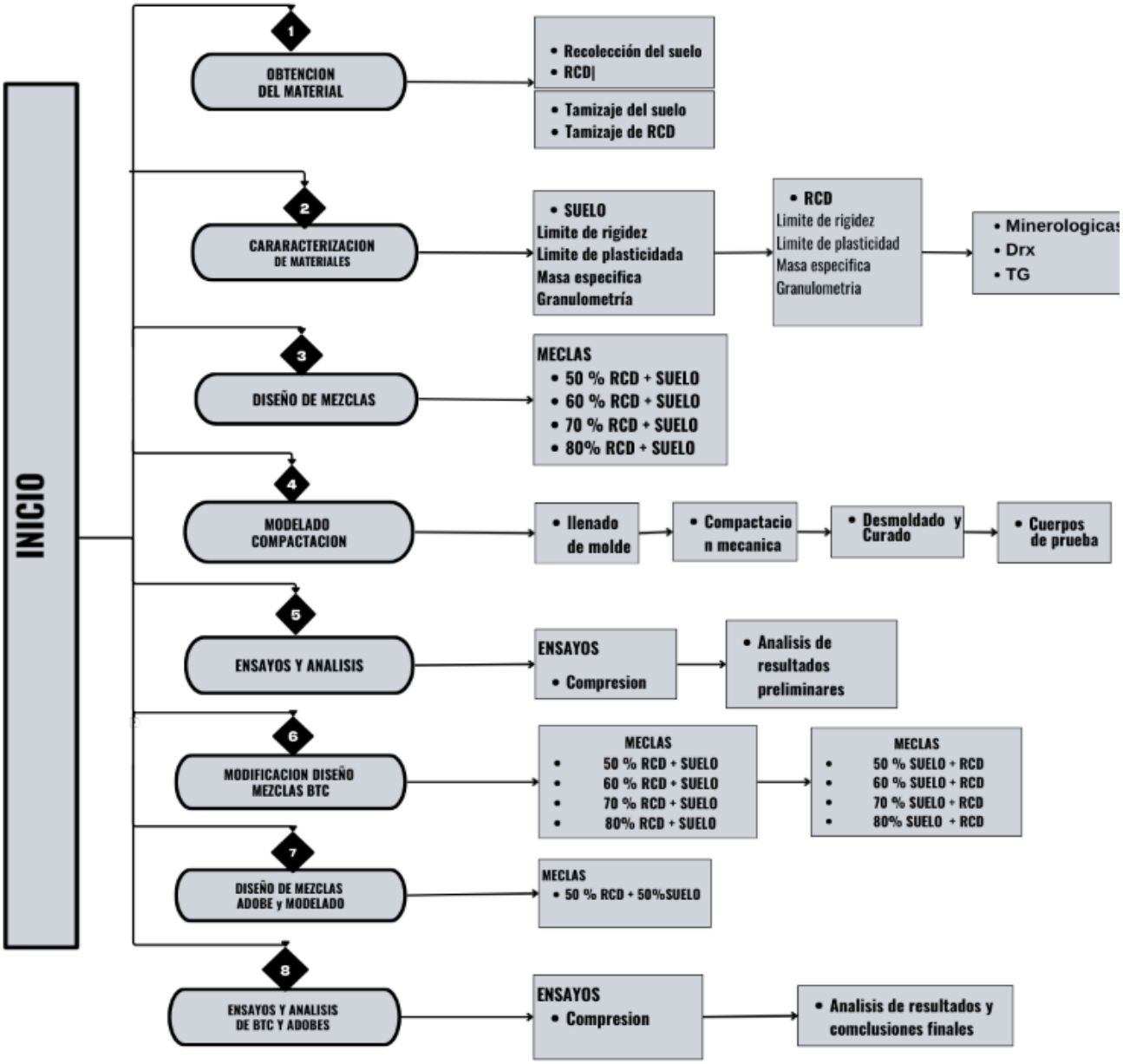
CAPITULO III: METODOLOGÍA

Este estudio es de naturaleza experimental y su estructura está en ocho etapas: I) Obtención del material; II) Caracterización de materiales; III) diseño de mezclas, IV) Modelado y compactación; V) Ensayos y análisis de resultados preliminares VI) Modificación de las mezclas de BTC VII) Diseño y modelado de adobes VIII) Ensayos y analices de BTC y adobes de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 2.

El flujograma vertical se diseñó para describir de manera secuencial y técnica el proceso metodológico para el desarrollo de prototipos constructivos en tierra cruda (BTC y adobe) con incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD). Inicia con la definición del alcance experimental, seguida de la obtención y preparación del suelo y los RCD, mediante recolección, tamizado y control de humedad. Posteriormente, se realiza la caracterización de los materiales, incluyendo límites de consistencia, granulometría, masa específica y, en el caso de los RCD, ensayos complementarios como DRX y TG.

Con base en estos resultados se formulan las mezclas iniciales para BTC, variando las proporciones entre suelo y RCD, y se procede al modelado y compactación mecánica, con desmolde y curado controlado. Luego se desarrollan ensayos de compresión simple (según la NBR 8492) y análisis preliminares. A partir de estos resultados, se optimiza el diseño con nuevas combinaciones suelo y RCD, para posteriormente diseñar mezclas de adobes y moldeados sin compactación mecánica, con curado natural. Finalmente, se realizan los ensayos de compresión en BTC y adobes NBR 8492 y NBR 16814, respectivamente.

Figura 2. Diagrama de flujo de los procedimientos



Fuente: Autora, 2024.

3.1 Obtención del material

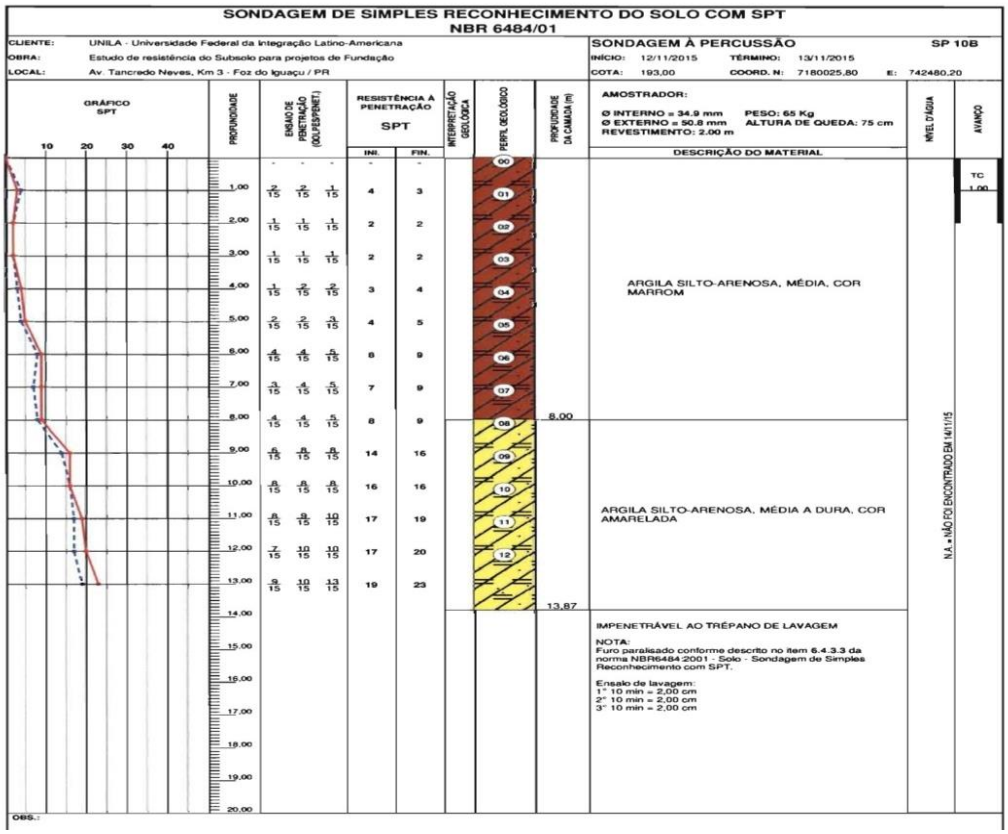
3.1.1 Suelo

El suelo en estudio fue recogido del campo experimental del grupo de geotecnia de la UNILA, ubicada al lado derecho de la residencia estudiantil y a pocos metros de la Avenida Tancredo Neves Foz de Iguazú. Esta región fue estudiada por Dsoares

(2015), mostrando la presencia de suelos superficiales con Nspt menor o igual a 5, clasificados como blandos por la NBR 6484 (ABNT, 2001).

Específicamente el campo experimental está ubicado sobre un suelo con un perfil estratigráfico como se muestra en la Figura 3 y consiste en una arcilla limo-arenosa de baja resistencia, con una resistencia a la penetración Nspt de 3-4-5 hasta 6 metros de profundidad.

Figura 3. Perfil estratigráfico del local en estudio.



Fuente: Dsoares, 2015.

Así, las muestras de suelo fueron colectadas mediante excavación de una calicata de 70 cm de profundidad y son del tipo deformadas. Las mismas fueron sometidas a ensayos para determinar los índices físicos, distribución granulométrica, humedad óptima, densidad seca máxima y los límites de consistencia y plasticidad (Anagua Coila, 2019).

3.1.2 Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son los materiales generados durante la construcción y demolición de edificios, infraestructuras y otros proyectos de ingeniería. Estos residuos incluyen materiales pétreos como concreto, ladrillos, azulejos, cerámicas y piedra natural que es la materia prima de esta disertación y fue procesado en la empresa **Future Reciclagem Inteligente**, ubicada en la Estrada Rural Colonia Barreiros, São João d'Oeste, Cascavel – PR, 85820-899, tal como se observa en la Figura 4.

Figura 4. Maquina Trituración (RCD).

Fuente: Autora, 2024.

La Tabla 3 presenta la normativa técnica y las referencias utilizadas como base para la caracterización de los materiales y la realización de los ensayos de laboratorio. Esta recopilación permite asegurar la validez metodológica de la investigación y la comparabilidad de los resultados con estándares consolidados. Además, refleja la integración de normas nacionales (ABNT) e internacionales (ISO), garantizando rigor científico y aplicabilidad práctica.

Tabla 3. Normativa aplicada y ensayos de laboratorio.

Ensayo	Norma/Referencia	Suelo	RCD
Masa especifica de los granos	NBR 6508 (ABNT,1984)	x	x
Granulometría laser	NBR 7181(ABNT,2018) ISO 13220(ISO,20009	x	x
Limite liquido	NBR 6459 (ABNT,2016b)	x	x
Límite de plasticidad	NBR 7180 (ABNT,2016c)	x	x
Agregados reciclados de residuos sólidos de la construcción civil	NBR 15116(ABNT,2004)	x	x
Norma bloque de Suelo-cemento Resistencia	NBR-8492 (ABNT,1984)	x	x
Norma Bloque de suelo-cemento sin función estructural	NBR-10834(ABNT,1984)	x	x
Noma técnica para tierra apisonada	NBR-17014 (ABNT,2022)	x	x

Fuente: Autora, 2024.

En el detalle del esquema anterior se observa la aplicación de la NBR 6508 (1984) para la determinación de la masa específica de los granos, fundamental en el análisis de suelos y RCD. La granulometría fue evaluada mediante la NBR 7181 (2018) y la ISO 13220 (2009), lo que permitió una caracterización más precisa de la distribución de partículas. Los límites de consistencia se establecieron con las normas NBR 6459 (2016b) y NBR 7180 (2016c), indispensables para definir el comportamiento plástico del material.

Para los agregados reciclados se aplicó la NBR 15116 (2004), asegurando el cumplimiento de criterios de reciclaje de RCD. En cuanto a la resistencia mecánica de los bloques, se consideraron la NBR 8492 (1984) y la NBR 10834 (1984), que establecen requisitos para bloques de suelo-cemento con y sin función estructural.

Finalmente, la NBR 17014 (2022) aporta lineamientos actualizados para la técnica de tierra apisonada, un marco normativo completo y pertinente para lo que fue esta investigación.

3.1.3 Tamizaje

Tamizado de RCD se realizó manual y mecánico y consistió en pasar los materiales triturados a través de tamiz según aperturas de tamaños variados para separar los materiales en fracciones según su tamaño, conforme tabla 4:

Tabla 4. Tamiz utilizado.

Peso necesario: 430 g

Tamiz (N°)	RCD (%)	Suelo (%)
200	50	50
30	50	50
16	50	50
10	50	50
8	50	50

Fuente: Autora, 2024.

La tabla anterior nos indica una proporción del 50% de RCD y suelo para validar el diseño de mezclas a utilizar.

En la figura 5, se presenta el proceso manual del tamizaje y también su respectivo proceso por medio del agitador mecánico en donde se obtuvo el material para realizar la granulometría de los RCD. En el inciso a) se tiene la clasificación del material mediante separación granulométrica controlada; en el b) los tamices metálicos normalizados (2,00 mm; 0,600 mm; 0,125 mm) empleados para la clasificación granulométrica del material y en el c) el agitador electromecánico de tamices utilizado para la clasificación granulométrica estandarizada de suelos y RCD’s.

Figura 5. Proceso de tamiz manual y mecánico con el agitador eléctrico. a) Clasificación del material; b) Tamices metálicos; c) agitador electromecánico.

Fuente: Autora, 2024.

3.1.3.1 Tamizado de tierra

El tamizado de la tierra se realizó para asegurar la clasificación granulométrica y eliminar partículas grandes o impurezas que pudieran alterar la homogeneidad de las mezclas. En un principio la tierra removida se colocó en carretillas para ser transportada; luego, utilizando tamices de malla estandarizada, se hizo una separación manual para obtener fracciones más finas y homogéneas, susceptibles de ser utilizadas para la elaboración de bloques de tierra comprimida (BTC) y adobes.

Este proceso técnico, en conformidad con la NBR 7181 (ABNT, 2018), permitió reconocer y dominar la granulometría, garantizando la reproducibilidad experimental y mejorando las propiedades mecánicas y de trabajabilidad de los especímenes producidos como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Proceso de tamiz manual.

Fuente: Autora, 2024.

3.2 Caracterización de los materiales

3.2.1 Suelo

El resultado del ensayo granulométrico reportado por (Coila,2019) permitió analizar la distribución de partículas en el suelo mediante dos metodologías complementarias. En la Tabla 5 se muestran los resultados de la fracción fina determinados por el granulómetro láser húmedo, conforme a la NBR 7181 (ABNT, 2018) y en asociación con la ISO 13320 (2009).

A partir de la curva granulométrica obtenida fue posible identificar la proporción de cada fracción textural: arcilla (≈ 30%), limo (≈ 57%) y arena (≈ 13%). El porcentaje de finos (limo + arcilla) alcanzó un valor cercano al 87%, lo que permitió clasificar el material, de acuerdo con la ABNT NBR 6502 (1995) y la NBR 7181 (2018), como un suelo limo-arcilloso. Adicionalmente, la caracterización visual describió al material con una coloración rojiza, corroborando su origen y composición mineralógica.

Tabla 5. Resultado de ensayo granulometria lasser

Diámetro mm	Porcentaje acumulado (%)	Porcentaje por diámetro (retención)	Clasificación
0,075	86,86	1,747	Arena
0,05	85,113	19,975	21,72%
0,02	65,1375	19,976	Limo
0,01	45,162	15,633	51,74%
0,004	29,529	19,107	
0,001	10,422	5,211	Arcilla
0,0005	5,211	5,211	10,42%
0,0001	0	-	-

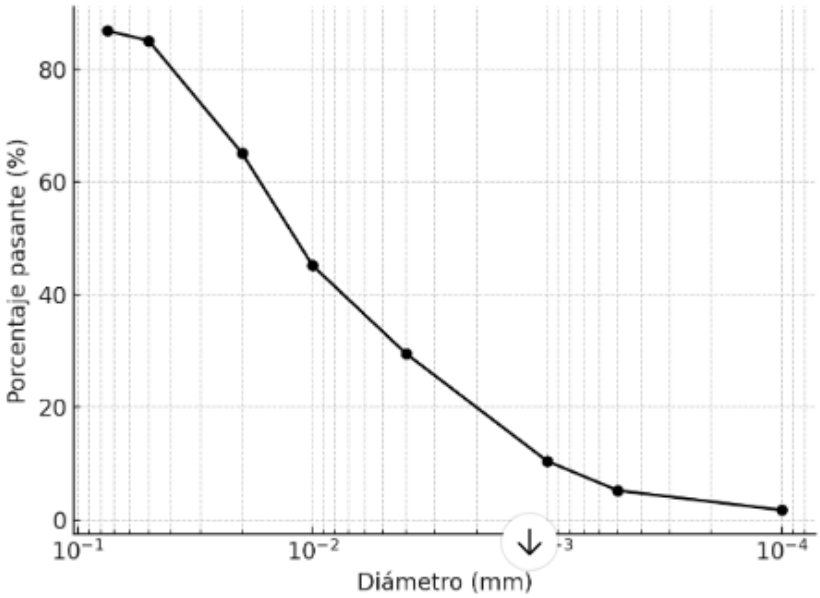
Fuente: Adaptado de Anagua Coila, 2019

La curva granulométrica obtenida por láser ver Gráfico 1. Muestra una dispersión dominada por partículas finas, con un alto porcentaje pasante en los diámetros mayores que va disminuyendo a medida que se avanza hacia las fracciones

más finas. La forma descendente de la curva indica que se trata de un suelo rico en limo y arcilla y, por lo tanto, plástico y trabajable.

El cambio mayor de pendiente se produce entre 0,02 y 0,004 mm, que marca el paso de las fracciones limosas a las arcillosas. Esta propiedad indica que el suelo es altamente cohesivo, importante para la elaboración de adobes y BTC.

Gráfico 1. Curva Granulométrica - Método Laser



Fuente: Autora, 2025.

En relación a los resultados de los ensayos de límite de plasticidad y límite de liquidez conforme la NBR 7180 y NBR 6459, fue posible obtener los resultados presentados en la tabla 5, donde el suelo y el S.C 6%, presentan una plasticidad media, mientras el S.C 9% y S.C 12% presentan un comportamiento ligeramente plástico. La clasificación por el SUCS para el suelo resultó una arcilla de baja plasticidad. Los ensayos de masa específica de los sólidos fueron realizados conforme la ABNT 6508 (ABNT, 1984). Ver tabla 6

Tabla 6. Resultado del límite de Atterberg, clasificación SUCS y masa específica de los sólidos.

Descripción	Suelo
Limite de Plasticidad (%)	23,98
Limite de liquidez (%)	36,6
Índice de plasticidad (%)	12,62
Clasificación SUCS	CL
Masa específica de los sólidos	2,74

Fuente: Anagua , 2019.

3.2.2 RCD

Los residuos pétreos de construcción y demolición, principalmente constituidos por materiales como hormigón, ladrillos, azulejos, cerámica y piedra natural, tienen composiciones químicas diversas dependiendo del material específico. A continuación, en la Tabla 7, se detalla la composición química de los componentes más comunes:

Tabla 7. Composición química de los RCD y Tierra.

Mineral / Componente	Porcentaje en tierra (%)	Porcentaje en RCD (%)
Sílice (SiO_2)	60	50
Alúmina (Al_2O_3)	15	10
Óxidos de Hierro (Fe_2O_3)	8	5
Calcio (CaO)	4	20
Materias orgánicas	2	1
Carbonato de Calcio ($CaCO_3$)	11	14

Fuente: Autora, 2024.

3.2.2.1 Granulometría Laser RCD

El ensayo de granulometría para las partículas finas menores a 2mm, fue realizado por el granulómetro a láser y su respectiva curva granulométrica (ver gráfico 1), utilizando el equipo de marca CILAS, modelo 1190 del laboratorio de desempeño, estructuras y materiales (LADEMA) de la UNILA (en Parque Tecnológico de Itiapu – Foz do Iguazú), más exactamente en la sala de caracterización, bajo la normativa ISO 13.220 (ISO, 2009), y para la preparación de la muestra fue sugerido las recomendaciones de la NBR 7181. Fueron analizadas cuatro muestras identificadas

como RCD 1, RCD 2, RCD 3 y mezcla de los 3 RCD con el objetivo de tener mayor proximidad de los datos.

En la figura 7, el análisis granulométrico por difracción láser de los RCD. En el inciso a) se observa el equipo CILAS modelo 1190 del Laboratorio LADEMA-UNILA, empleado para la determinación precisa del tamaño de partículas, y en el inciso b) las muestras de RCD preparadas en frascos para el análisis, garantizando la homogeneidad y representatividad del material.

Figura 7. Muestras para ensayo de granulometría RCD.

Fuente: Autora, 2024.

Los resultados de la granulometría a laser están expresos en la Tabla 8 en donde se dispersa una pequeña cantidad de la muestra en agua para evitar la aglomeración de partículas. Así, una vez homogenizada la suspensión mediante agitación y ultrasonido, se hace pasar el haz láser a través de la muestra, y los detectores registran los ángulos de difracción de la luz. A partir de esta información, el software del equipo calcula la distribución del tamaño de partícula, expresada en diámetros característicos (D10, D50 y D90).

Tabla 8. Resultado de granulometría laser de la muestra de RCD.

Parámetros de Medición	RCD1	RCD 2	RCD 3	Mezcla RCD
Diámetro al 10%	0.814 µm	4.840 µm	4.085 µm	0.852 µm
Diámetro al 50% (Mediana)	12.627 µm	128.735 µm	269.745 µm	15.036 µm
Diámetro al 90%	52.574 µm	194.482 µm	445.162 µm	66.526 µm

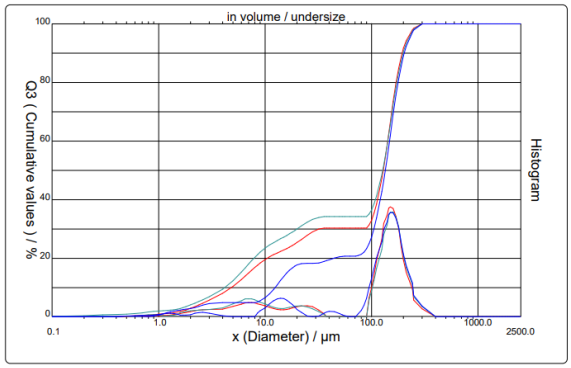
Fuente: Autora, 2024.

Los resultados de la granulometría láser evidencian una marcada variabilidad en la distribución de tamaños de partícula entre las muestras de RCD. La muestra

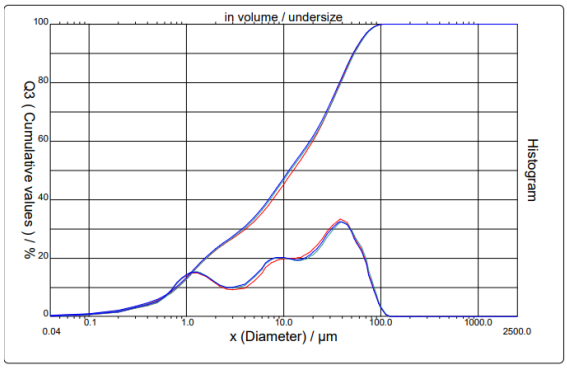
RCD1 presentó los valores más bajos de diámetro al 50% (12.627 µm) y al 90% (52.574 µm), lo que indica una predominancia de fracciones finas. En contraste, las muestras RCD2 y RCD3 exhibieron diámetros considerablemente mayores, con medianas de 128.735 µm y 269.745 µm, respectivamente, lo que refleja la presencia de partículas más gruesas.

Por su parte, la mezcla de RCD presentó valores intermedios (D50 = 15.036 µm; D90 = 66.526 µm), lo que sugiere un comportamiento balanceado derivado de la combinación de fracciones finas y gruesas de las muestras individuales. De este modo, el gráfico 2 nos presenta el comparativo entre tamizado y laser.

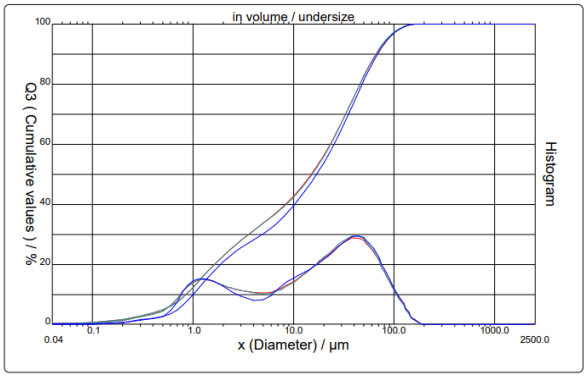
Gráfico 2. Curva Granulométrica RCD 1, 2 Y 3.



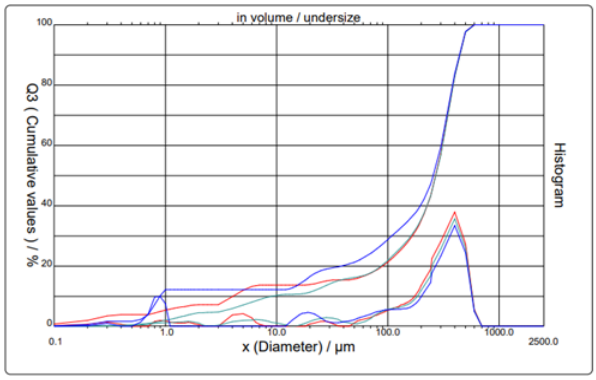
a) RCD 1



b) RCD 2



c) RCD 3



d) Mezcla RCD

Fuente: Software granulómetro, 2024.

Los resultados de la Tabla 9. Muestran que los RCD poseen una marcada heterogeneidad en la fracción fina, con medianas (D50) que varían ampliamente entre muestras. No obstante, la mezcla homogénea reduce la dispersión granulométrica y concentra los valores en rangos adecuados para mejorar la trabajabilidad del BTC. Esta uniformización contribuye a una mayor estabilidad en el diseño de mezclas y a la optimización de su desempeño mecánico.

Tabla 9. Masa especifica RCD.

ITEM DE ENSAYO	Peso muestra (g)	Masa especifica (g/cm3	Variación porcentual %
RCD 1	8,7467	2,67	0,04
RCD 2	9,8172	2,7079	0,03
RCD 3	10,4482	2,7181	0,01

Fuente: Autora, 2024.

3.3 Diseño de mezclas

Las diferentes mezclas se seleccionaron según los tamices No. 200, 30,16, 10 y 8 para los RCD y un tamiz No.10 para la tierra. Para optimización de las mezclas se ajustó la proporción de diferentes fracciones granulométricas para mejorar las propiedades de los RCD y la tierra.

La tierra se seleccionó y preparo para la mezcla con eliminación de impurezas y la homogeneización de la composición granulométrica. Todos los procedimientos fueron ejecutados en el laboratorio de la UNILA, bajo mi autoría y responsabilidad.

En la figura 8, La preparación de materiales para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC). En el inciso a) se muestra el tamizado manual del suelo con zarandas para obtener un material fino y homogéneo; en el b) el tamizado de los RCD para clasificar y homogeneizar las fracciones granulométricas; y en el c) la mezcla

manual de los materiales en el laboratorio de la UNILA, garantizando la homogeneidad de la composición.

Figura 8. Proceso de tamizado y Mezcla

Fuente: Autora, 2024.

Se realizaron 4 muestras fue ajustada la proporción de componentes para mejorar características específicas, como resistencia, durabilidad, y trabajabilidad. Con molde de 1/4 de ladrillo y una compresión fija, tiempo de secado 7 días a temperatura de 32° ambiente y otros 7 días a la sombra. Según Tabla No.10.

Tabla 10. Diseño de mezcla.

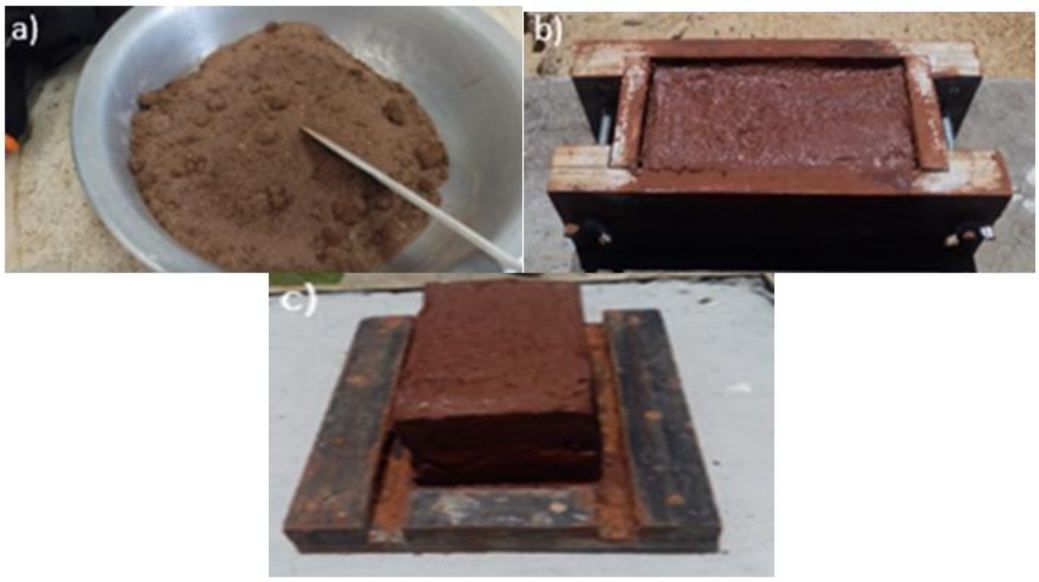
MATERIALES DE MEZCLA (50% RCD + 50% SUELO)			
TIPO	PESO	SUELO	AGUA
RCD 1			
RCD 2	1290g	1290g	250ml
RCD 3			

Fuente: Autora, 2024.

En la figura 9 se muestra la preparación, vaciado y secado de las muestras elaboradas. En el inciso a) se observa la mezcla manual de los materiales hasta

obtener una composición uniforme y homogénea; en el inciso b) el vaciado de la mezcla en moldes previamente acondicionados; y en el inciso c) el desmolde y secado natural de las piezas, expuestas al ambiente para su endurecimiento progresivo.

Figura 9. Proceso de muestra experimentales RCD y suelo.



Fuente: Autora, 2024.

Después Transcurridos 14 días de curado, las mezclas experimentales fueron evaluadas en términos de textura superficial, grado de compactación de los agregados granulares (RCD + suelo) y rigidez estructural. A partir de esta verificación, se concluyó que la formulación más satisfactoria correspondió a la dosificación compuesta por 16,6 % de RCD1, 16,6 % de RCD2 y 16,6 % de RCD3, complementados con 50 % de suelo natural (Ver figura 9).

3.4 Modelado I y compactación I

La etapa de mezclado se inició en condición seca, con el fin de asegurar una distribución homogénea de las partículas entre los RCD y el suelo. Posteriormente, se adicionó agua de manera gradual hasta alcanzar la consistencia óptima requerida para la compactación, siendo fundamental el control estricto de su dosificación para evitar variaciones en el desempeño del material.

En total, se elaboraron cuatro (4) mezclas prototipo, cuyo proceso de producción se fundamentó en los lineamientos de la NBR 10834 (ABNT, 2013), conforme a lo descrito en la Tabla 11.

Tabla 11. Mezcla prototipo.

MEZCLA (%)	RCD 1,2,3 (g)	SUELO (g)	AGUA (ml)	DISEÑO DEL BLOQUE
50% RCD+50% Suelo	1728	1728	600	
60% RCD+40% Suelo	2073	1383	600	
70% RCD+30% Suelo	2420	1037	600	
80% RCD+20% Suelo	2765	691	600	

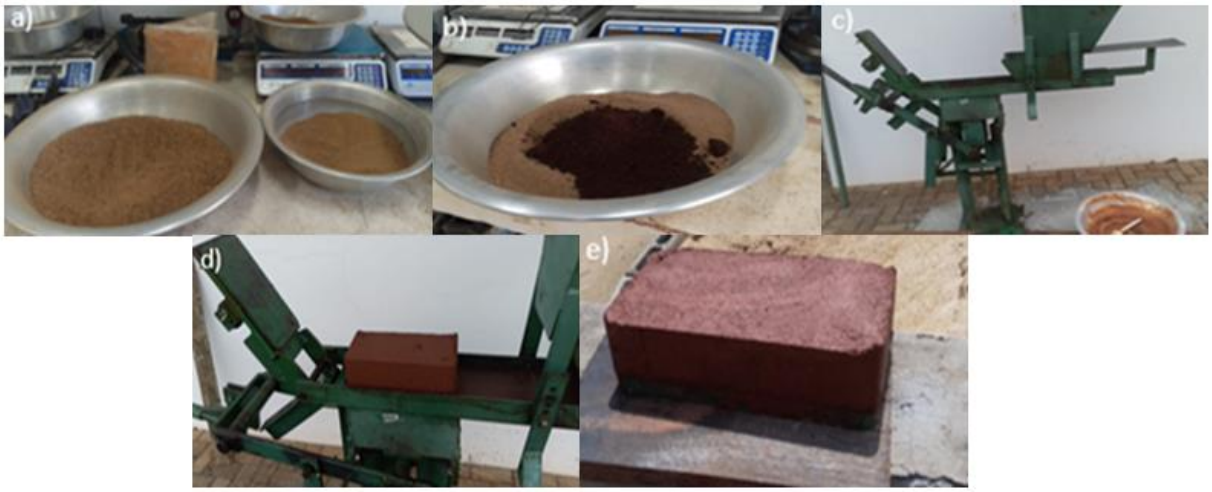
Fuente: Autora, 2024.

La mezcla estuvo compuesta por 50 % de suelo natural y 50 % de residuos de construcción y demolición (RCD), fraccionados en tres partes equivalentes: RCD 1, RCD 2 y RCD 3, cada uno con una participación aproximada del 16,6 %.

Tras ser homogenizada y ajustada en su contenido de humedad, la mezcla fue colocada en el molde de la máquina compactadora en la dosificación necesaria para llenar completamente la cavidad. El material se distribuyó de manera uniforme con el propósito de evitar vacíos internos y asegurar una compactación homogénea, conforme se ilustra en la siguiente figura.

En la figura 10. El proceso de elaboración de los BTC con incorporación de RCD. En el inciso a) se muestra el pesado y disposición controlada de los materiales; en el b) la mezcla manual homogénea del suelo con los RCD; en el c) el vaciado y compactación en moldes; en el d) el desmolde cuidadoso para preservar la geometría, y en el e) el secado controlado para garantizar la estabilidad y resistencia del bloque.

Figura 10. Proceso de prototipos.



Fuente: Autora, 2024.

Una vez compactada la mezcla, se liberó gradualmente la presión de la máquina y se retiraron cuidadosamente cada bloque para no alterar su estructura y evitar microfisuras por tensiones residuales. A continuación, cada probeta fue inspeccionada visualmente de manera preliminar en busca de defectos macroscópicos (fisuras, bordes rotos, irregularidades superficiales, etc.) que pudieran afectar su comportamiento mecánico en las pruebas de laboratorio.

Una vez superado el control inicial, los bloques de tierra comprimida (BTC) fueron sometidos a un proceso de secado natural durante siete (7) días, bajo condiciones ambientales monitorizadas, con una temperatura promedio de 32 °C y ventilación controlada.

Este procedimiento permitió garantizar la estabilidad dimensional de las piezas y alcanzar un equilibrio higrotérmico adecuado, condición indispensable para asegurar resultados confiables en las etapas posteriores de caracterización.

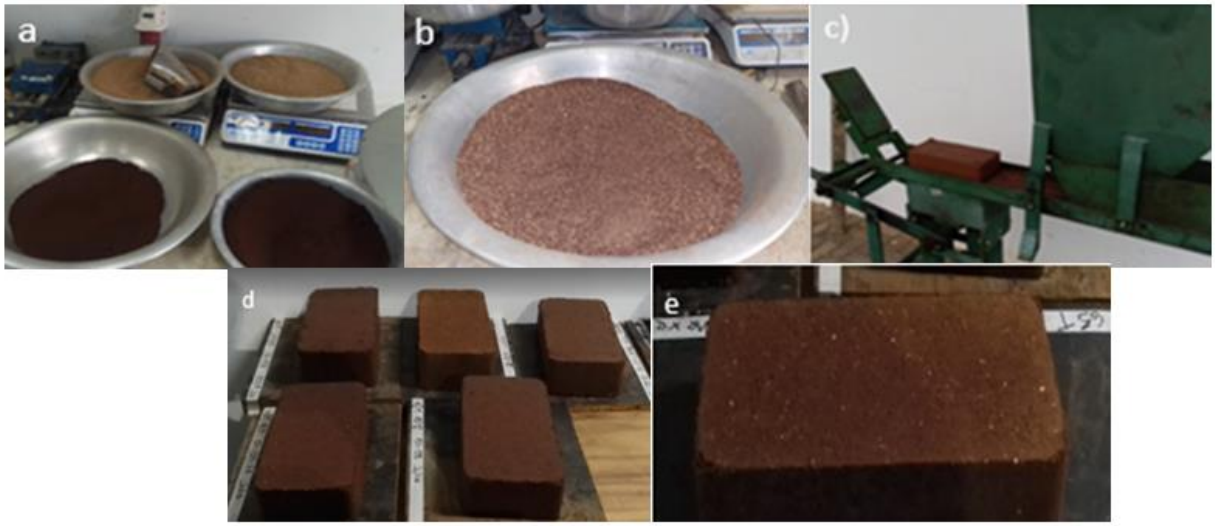
La fase experimental en laboratorio confirmó la viabilidad técnica de incorporar residuos de construcción y demolición (RCD) como parte constitutiva de los BTC, cumpliendo con las especificaciones técnicas y normativas previamente referenciadas.

Con el propósito de garantizar la representatividad estadística de los resultados, se moldearon cinco (5) cuerpos de prueba por cada una de las mezclas diseñadas, alcanzando un total de veinte (20) especímenes experimentales.

Este procedimiento permitió establecer una base comparativa sólida entre las diferentes dosificaciones, favoreciendo la identificación de patrones de comportamiento mecánico. Además, la estandarización en el número de muestras asegura la confiabilidad de los ensayos y facilita la reproducibilidad de los resultados.

En la figura 11. La secuencia de elaboración y control de los BTC. En el inciso a) se observa la selección y cribado inicial del material para eliminar impurezas; en el b) la homogeneización de la fracción fina en bandejas metálicas; en el c) el moldeo y compactación mecánica del preparado; en el d) la estabilización ambiental de los bloques frescos en superficie ventilada, y en el e) la identificación y almacenamiento ordenado de los BTC destinados a ensayos posteriores.

Figura 11. Proceso de moldeados serie I



Fuente: Autora, 2024.

3.4.1 Cuerpos de prueba I

La adquisición y preparación de la mezcla para cuerpos de prueba es una etapa fundamental en la caracterización mecánica de materiales de construcción. El proceso

se inicia con la elección y dosificación de los materiales componentes (cemento y agua) en una proporción definida por la norma NBR 8492 (ABNT, 2013), que fija los requisitos técnicos para la producción de bloques de tierra comprimida y materiales similares.

La dosificación exacta de los materiales, ya que cualquier cambio por pequeño que sea en la relación agua/cemento, cambia totalmente la trabajabilidad, cohesión de la mezcla y, por lo tanto, la resistencia mecánica de las probetas.

Una vez establecida la proporción ideal, el cemento se mezcla en seco para asegurar la dispersión uniforme de las partículas antes de agregar el agua. Luego se añade el agua lentamente, batiendo continuamente hasta obtener una consistencia adecuada para permitir su compactación posterior sin segregación.

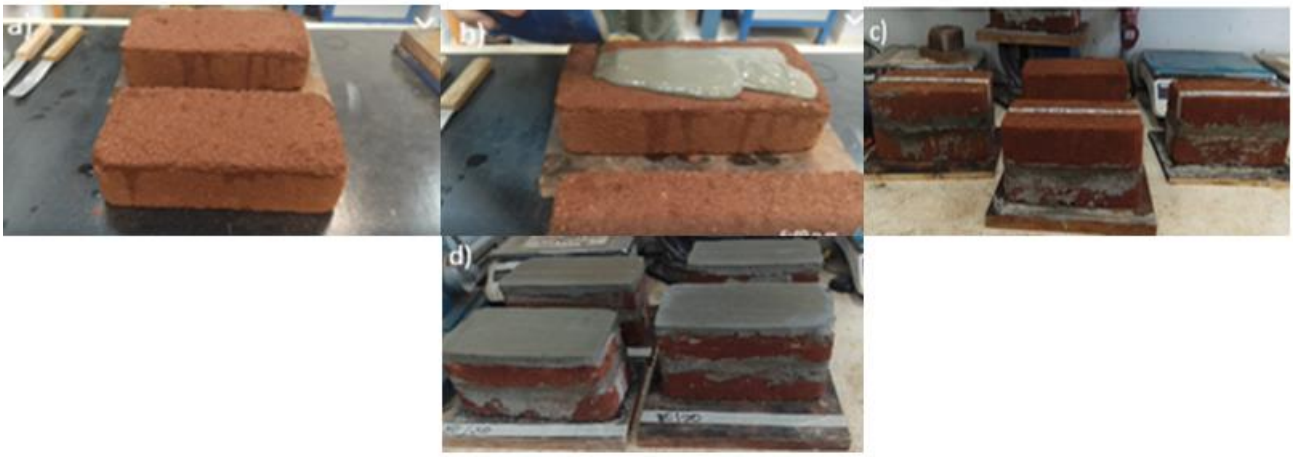
Este control de hidratación es fundamental para garantizar la homogeneidad de la mezcla y prevenir la formación de vacíos o micro fisuras que puedan afectar los resultados del ensayo de compresión.

Lo que sigue es la elaboración de los cuerpos de prueba, los cuales deben ajustarse a criterios geométricos rigurosos. Sus caras deben ser planas, paralelas y perpendiculares para asegurar el contacto uniforme de las superficies de carga al aplicar el esfuerzo.

Para nivelar dichas superficies se pueden utilizar dos técnicas: el esmerilado controlado para eliminar irregularidades superficiales o el cubrimiento con pasta de cemento Portland, cuyo espesor no sea mayor a 3 mm para no modificar el comportamiento estructural del espécimen. Además, con ayuda de una espátula metálica se eliminan rebabas o material sobrante para evitar concentraciones locales de tensiones en el ensayo. El curado controlado durante un mínimo de siete días asegura la adecuada hidratación del cemento y el desarrollo de su resistencia mecánica. Una deficiencia en este proceso compromete la capacidad portante del material y la confiabilidad de los resultados experimentales.

En la figura 12. Preparación de los cuerpos de prueba de bloques de tierra comprimida (BTC) para el ensayo de compresión axial. En el inciso a) se observa el acondicionamiento de los bloques para obtener superficies estables; en el b) la aplicación de pasta de cemento Portland con fines de nivelación; en el c) el vaciado y extensión de la mezcla cementicia en las caras del espécimen, y en el d) la eliminación del exceso de mortero para obtener juntas limpias y uniformes.

Figura 12. Preparación de cuerpos de prueba serie I.



Fuente: Autora, 2024

3.5 Ensayos serie I

3.5.1. Ensayo de compresión

La caracterización de cuerpos de prueba preparados con mezclas de residuos de construcción y demolición (RCD) y suelo natural es esencial para asegurar la trazabilidad experimental y establecer relaciones entre la dosificación y el comportamiento mecánico esperado.

En esta línea, en la Tabla 12 se puede observar la dosificación de materiales y los tiempos de secado y curado del cemento, siendo este último un dato necesario para la interpretación de los ensayos posteriores. Garantiza así la validez técnica de los procedimientos y la reproducibilidad de los resultados de laboratorio.

Tabla 12. Información de la edad de los cuerpos de prueba.

FECHA MOLDE DE PRUEBA	LADRILLO	% RCD	% SUELO	T. SECADO	T. CURA CEMENTO DEL CP
26/03/2024	BLOQUE 1	50%	50%	56 DIAS	10 DIAS
26/03/2024	BLOQUE 2	60%	40%		
26/03/2024	BLOQUE 3	70%	30%		
26/03/2024	BLOQUE 4	80%	20%		

Fuente: Autora, 2024

Los ensayos fueron ejecutados en el Laboratorio de Concretos de Itaipu, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma NBR 8492 (ABNT, 1984). Ver figura 13, Cada cuerpo de prueba fue dispuesto directamente sobre el plato inferior de la máquina de compresión, garantizando su correcta alineación respecto al eje de carga.

La aplicación del esfuerzo se realizó de manera continua y uniforme, con una tasa controlada de 500 N/s (equivalente a 50 kgf/s), manteniendo un incremento progresivo hasta la ruptura total del espécimen, condición indispensable para la obtención de resultados fiables y representativos en la caracterización mecánica del material. Los resultados obtenidos serán analizados y discutidos en el punto 3.6, donde se presentan los valores experimentales y su interpretación técnica.

. En la figura 13. El ensayo de compresión axial de los BTC con diferentes proporciones de RCD y suelo (50-50 %, 60-40 % y 70-30 %), realizados en prensa hidráulica bajo condiciones controladas de laboratorio para determinar la resistencia y comportamiento mecánico de las unidades.

Figura 13. Ensayo de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio de concretos de la ITAIPU.

Fuente: Autora, 2024.

3.5.2 Ensayo de absorción de agua

En febrero 15 de 2024 se llevó a cabo un ensayo empírico de durabilidad e inmersión prolongada en agua sobre un bloque de tierra estabilizada con residuos de construcción y demolición (RCD), como se muestra en la figura 14.

El objetivo consistió en evaluar su comportamiento físico al permanecer sumergido de manera continua, determinando la resistencia a la disgregación y la variación de masa bajo condiciones extremas de saturación. Este procedimiento, aunque no normativo, aporta evidencia preliminar sobre la estabilidad hídrica del material.

Figura 14. Muestra sumergida en agua.

Fuente: Autora, 2024.

El bloque, con un peso inicial de 1.728,5 g, se sumergió por completo en un cubo con agua potable, asegurando que todas sus caras quedaran sumergidas. El tiempo de exposición fue de aproximadamente 2 meses sin renovar el agua, creando condiciones de saturación estática. En este tiempo, la pieza fue sometida a absorción capilar continua y a posible lixiviación de partículas finas. Pero después de la extracción, el bloque mantuvo su forma geométrica sin colapso estructural ni pérdida de material. Teniendo en cuenta el tiempo de inmersión y el grado de saturación, el peso final se estimó en 1.957,3 g, debido al agua absorbida en su estructura porosa, la cual incrementa la masa del espécimen durante este proceso.

El ensayo evidenció que el bloque mantuvo su cohesión y no se desintegró después de dos meses de inmersión continua, lo que demuestra una resistencia significativa al deterioro por acción hídrica. Estos resultados empíricos sugieren un desempeño favorable en términos de durabilidad, constituyendo una base experimental preliminar para futuras evaluaciones normalizadas de absorción y resistencia a la intemperie.

3.6 Modificación diseño de mezcla (BTC)

3.6.1 Dosificación de mezcla BTC serie II

La reformulación de porcentajes de RCD R1: 20%, R2: 50% y R3: 30% se justifica para optimizar la granulometría y densidad de la mezcla y mejorar su compactación y resistencia mecánica. La disminución de R1 favorece la dispersión de partículas poco estructuradas, en tanto que el aumento de R2 refuerza la cohesión y la resistencia a la compresión. La regulación de R3 permite equilibrar la absorción de agua y la estabilidad dimensional. A su vez, la adición de agua a 700 ml se justifica por la necesidad de mayor humedad para la trabajabilidad y la hidratación de los estabilizantes contenidos en los RCD, mejorando el moldeado y previniendo fisuras por secado acelerado según Tabla 13.

Tabla 13. Diseño de mezclas de Tierra y RCD para cuerpos de prueba

Tierra (%)	RCD total (%)	Distribución interna del (% del total de RCD)	Cantidad de agua (ml)
50	50	RCD 1: 20 % • RCD 2: 50 % • RCD 3: 30 %	700
60	40		
70	30		
20	80		
50	50		
40	60		
30	70		
20	80		

Fuente: Autora, 2025.

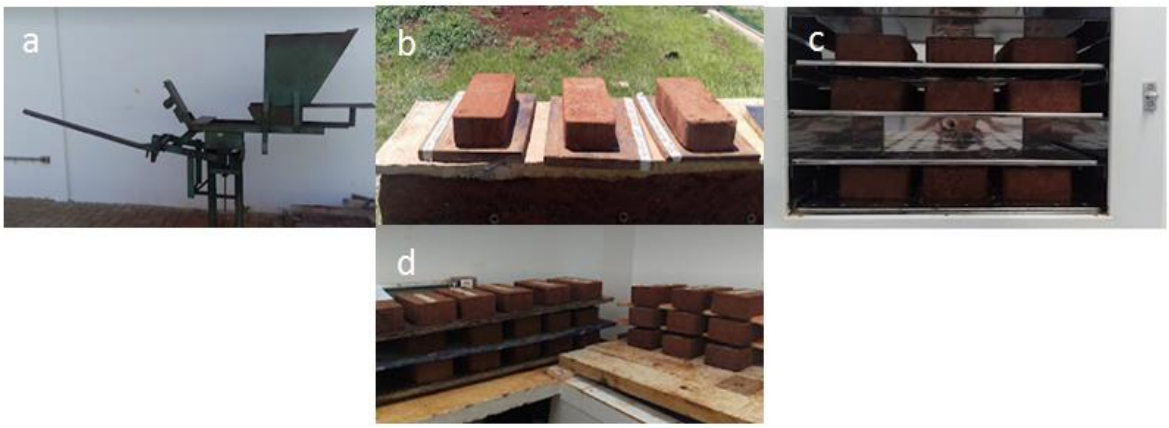
De acuerdo con lo desarrollado en laboratorio, se concluyó de manera empírica que en la Serie II las mezclas de tierra y RCD permitieron conformar cuerpos de prueba con diferentes combinaciones entre suelo y fracciones de RCD (1, 2 y 3), manteniendo constante el volumen de agua de amasado en 700 ml.

Los resultados preliminares mostraron que esta configuración posibilitó evaluar el efecto de la sustitución parcial y total del suelo por residuos reciclados, garantizando una adecuada homogeneidad en la dosificación y aportando evidencia práctica sobre la viabilidad de las formulaciones ensayadas.

3 6.2 Modelado, compactación y secado (BTC) II

En la figura 15. El proceso de compactación, desmolde y curado de los BTC de la serie II. En el inciso a) se observa la compactación manual en prensa de palanca, en el b) el desmolde controlado para conservar la geometría, en el c) el curado acelerado en horno a 40 °C, y en el d) el almacenamiento y estabilización de los bloques antes de los ensayos.

Figura 15. Producción de Bloques compactados mezcla modificada serie II.



Fuente Autora, 2025.

La modificación de la mezcla mediante la incorporación controlada de fracciones de RCD (1, 2 y 3) junto con suelo natural permitió optimizar la granulometría, mejorar la cohesión interna y garantizar una densificación adecuada durante la compactación mecánica.

Esta adaptación en la dosificación favoreció la obtención de bloques con mayor uniformidad geométrica y menor presencia de vacíos, aspectos que estuvieron

directamente relacionados con su desempeño mecánico.

Adicionalmente, el proceso de curado acelerado en estufa a 40 °C durante siete días, ilustrado en la figura 15, resultó esencial para estabilizar el contenido de humedad y homogeneizar las condiciones higrotérmicas de los cuerpos de prueba. Dicho tratamiento evitó la generación de fisuras prematuras por gradientes de secado, manteniendo la estabilidad dimensional de los BTC. En conjunto, estas prácticas incrementaron la confiabilidad de los resultados experimentales, asegurando su reproducibilidad y validez técnica.

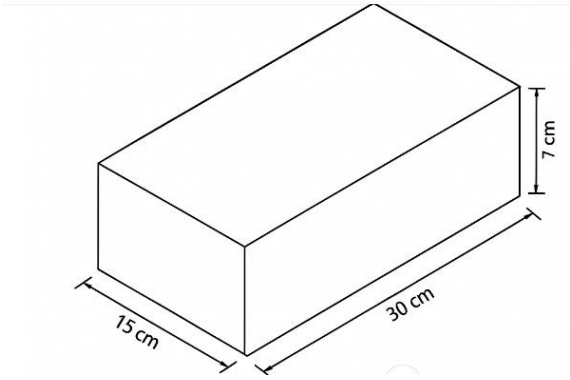
3.6.3 Diseño de mezclas adobes

El adobe elaborado presentó dimensiones de 30 × 15 × 7 cm, según se ilustra en la figura 16. El diseño de la mezcla fue para un con una proporción de 50 % de tierra y 50 % de residuos de construcción y demolición (RCD), siguiendo el mismo procedimiento técnico de los (BTC).

Primero, se tamizo la tierra libre de materia orgánica y con granulometría controlada. Luego, se tamizo los RCD (RCD 1, RCD 2 y RCD 3) hasta obtener fracciones específicas: partículas gruesas de 4,75 mm, medianas de 2,36 mm y finas menores de 0,075 mm, según norma granulométrica.

Posteriormente, pesé los componentes secos de forma precisa y los integré en seco, garantizando la distribución homogénea de las partículas. A continuación, incorporé gradualmente 1300 ml de agua, mezclando de forma continua para lograr una humedad uniforme y una consistencia plástica óptima para el moldeo.

Figura 16. Dimensiones del Adobe + RCD



Fuente: Autora, 2025.

3.6.4 Proceso de mezclado y moldeo de adobe

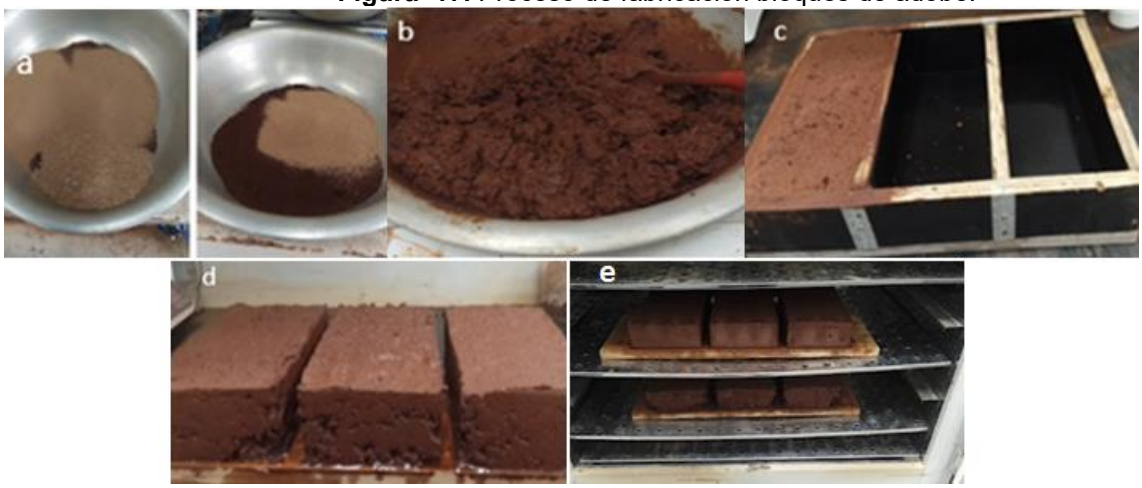
La elaboración se inició con el pesado individual de los materiales: 2.599 g de suelo previamente secado al aire y tamizado a malla de 4,8 mm, junto con los RCD clasificados en tres fracciones granulométricas: R1 (728 g, tamaño ≤ 4,8 mm), R2 (978 g, tamaño ≤ 2,4 mm) y R3 (728 g, tamaño ≤ 1,2 mm). Posteriormente, se procedió al mezclado en seco durante 5 min, asegurando una distribución homogénea de las partículas y evitando la segregación por densidad.

Seguidamente, se incorporaron 1.300 ml de agua de forma gradual, manteniendo el mezclado constante para asegurar una correcta humectación y lograr una consistencia plástica uniforme.

La mezcla resultante se introdujo en moldes prismáticos (30 × 15 × 7 cm), aplicando compactación manual y ligera para eliminar vacíos. Los adobes se desmoldaron inmediatamente y se sometieron a un secado controlado en horno a 30 °C durante 7 días para acelerar la pérdida de humedad libre, finalizando con un almacenamiento en cámara húmeda a temperatura y humedad controladas hasta su etapa de ensayos.

En la figura 17. La elaboración de adobes con incorporación de RCD. En el inciso a) se muestra el tamizado del material con mallas normalizadas, en el b) el mezclado 50 % tierra – 50 % RCD hasta lograr una masa homogénea, en el c) el moldeado en moldes de madera, en el d) la extracción cuidadosa de las piezas frescas, y en el e) el curado en horno a 30 °C bajo condiciones controladas.

Figura 17. Proceso de fabricación bloques de adobe.



Fuente: Autora, 2025.

3.6.5 Cuerpos de prueba II

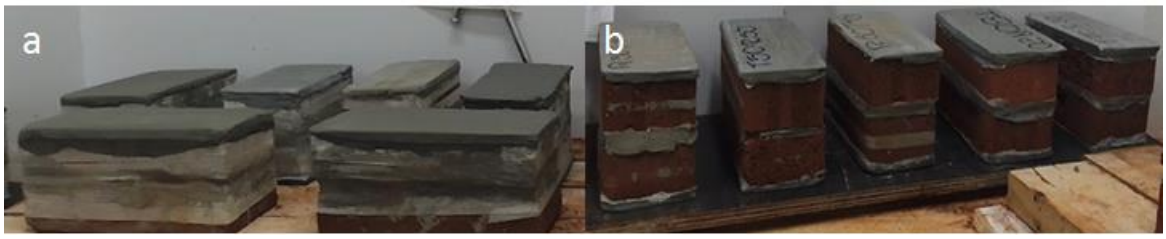
Se llevó a cabo el alistamiento de los cuerpos de prueba utilizando dos bloques, tanto BTC como adobes, alineados de forma exacta para garantizar el contacto completo de sus caras.

Se aplicó una capa homogénea de cemento en tres ubicaciones clave: en la superficie superior, en la región media y en la base de los bloques, con el objetivo de evaluar la adhesión y el rendimiento estructural en diferentes niveles de contacto.

En la figura 18. Los cuerpos de prueba para el ensayo de compresión. En el inciso a) se observa el vaciado y extensión de la mezcla cementicia en las caras superior, inferior y central del espécimen, y en el inciso b) la eliminación del exceso de mortero para garantizar juntas limpias y uniformes en las muestras ensayadas.

Figura 18. Preparación cuerpos de prueba. serie II y adobes

Fuente: Autora, 2025.



3.7 Ensayos serie II

3.7.1. Ensayo de compresión (BTC) Serie II

Los estudios se llevaron a cabo en el Laboratorio de Concretos de Terrano, ubicado en Rua Ali Osman, 222, Foz do Iguazú, siguiendo rigurosamente la NBR 8492:2012 – Ladrillo macizo de suelo-cemento – Determinación de la resistencia a compresión (ABNT, 2012).

El equipo de prueba debía situarse de manera directa en el plato inferior de la máquina de ensayo de compresión, perfectamente centrado, con el objetivo de prevenir cargas excéntricas. La aplicación de la carga se realizó de manera homogénea y constante, a una velocidad regulada de 500 N/s (50 kgf/s), manteniendo un incremento progresivo hasta el momento de la rotura de las probetas**.**

Es importante señalar que se modificó el laboratorio inicialmente previsto, ya que no se contaba con plena certeza respecto a la calibración de los equipos disponibles, lo cual podría comprometer la confiabilidad de los resultados. En consecuencia, se decidió trasladar los ensayos al laboratorio mencionado, asegurando así la validez técnica y la reproducibilidad de las mediciones.

En la figura 19. El test de compresión aplicado a un bloque de tierra comprimida (BTC) con 50 % de RCD y 50 % de suelo. En el inciso a) se observa el cuerpo de prueba conformado, en el b) el proceso de aplicación de carga vertical controlada mediante prensa mecánica, y en el c) el registro del valor máximo de 6064 kgf, correspondiente a la ruptura del espécimen.

Figura 19. Ensayo de compresión BTC serie II

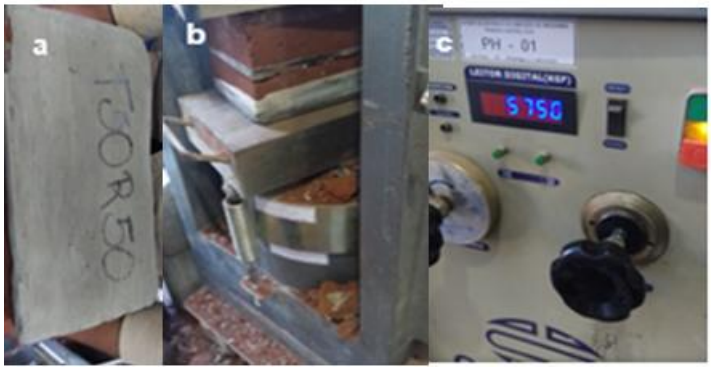
Fuente: Autora, 2025.

3.7.2 Ensayos de compresión adobe

El procedimiento experimental se desarrolló en el Laboratorio de Concretos de Terrano conforme a la NBR 16814:2020 – Adobe – Determinación de la resistencia a la compresión (ABNT, 2020). Los especímenes fueron posicionados cuidadosamente en el plato inferior de la prensa hidráulica, garantizando su alineación axial para minimizar efectos de excentricidad en la carga. La fuerza compresiva se aplicó de forma gradual y continua, con un control preciso de la velocidad de incremento de 500 N/s (50 kgf/s), manteniendo la regularidad hasta alcanzar la rotura del material.

En la figura 20. El ensayo de compresión aplicado a un adobe con incorporación de RCD y suelo en proporción 50-50 %. En el inciso a) se observa el cuerpo de prueba conformado, en el b) el proceso de carga vertical controlada mediante prensa mecánica, y en el c) el valor máximo registrado de 5750 kgf, correspondiente a la carga aplicada hasta la ruptura del espécimen.

Figura 20. Ensayo de compresión Adobe



Fuente: Autora, 2025.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Resultados serie I

4.1.2 Ensayo de Compresión

En la Tabla 14 se presentan los resultados de compresión para los prototipos experimentales bloques RCD/suelo ensayados en el laboratorio de concretos de Itaipu. Los valores en MPa definen la dependencia entre las proporciones de RCD y la resistencia obtenida a los 63 días de curado.

Tabla 14. Resultados de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio de concretos de la ITAIPU.

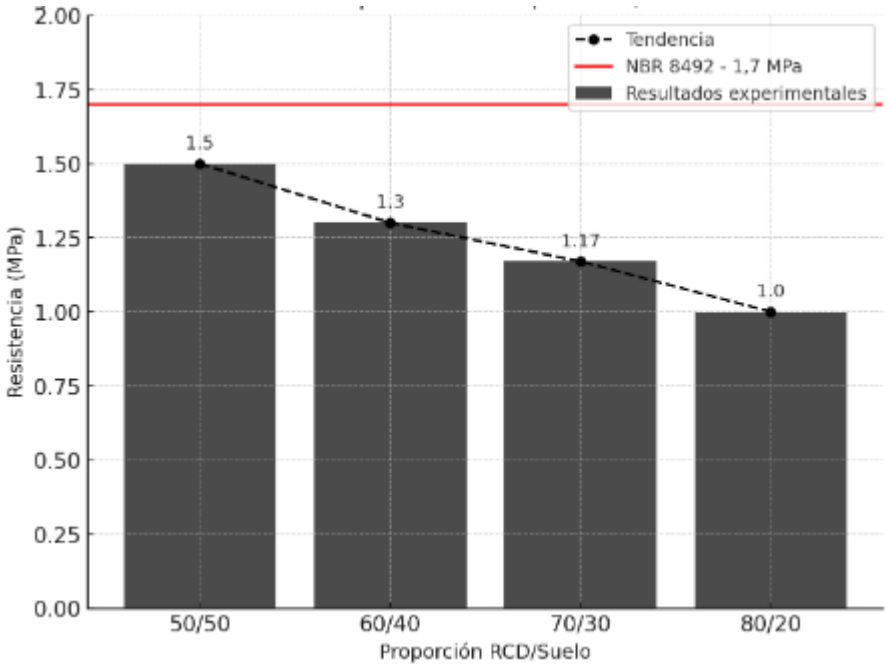
CPN°	(RCD/SOLO)	MPa	Dimensiones	Edad del CP (días)
1	50/50	1.5	250mm x 120mm, h=130mm	63
2	60/40	1.3		
3	70/30	1.17		
4	80/20	1		

Fuente: Laboratorio ITAIPU, 2024

Se evidenció una disminución progresiva de la resistencia a medida que se incrementó el porcentaje de RCD en la mezcla, lo que refleja la influencia de la reducción del contenido de suelo en la cohesión interna.

De acuerdo con la NBR 8492 (ABNT, 2012), que establece una resistencia mínima a compresión de 1,7 MPa para bloques de tierra comprimida, ninguno de los prototipos alcanzó el valor exigido, siendo el mejor desempeño el de la mezcla 50 % RCD – 50 % suelo, con 1,5 MPa. Como se evidencia en el Grafico 3.

Gráfico 3. Resistencia a compresión bloques RCD frente a la norma NBR 8492 serie I



Fuente: Autora, 2025.

Para efectos de comparación, y conforme a lo expuesto en la revisión bibliográfica, el estudio de Cunha y Seolin (2022), realizado con una muestra de suelo de Foz do Iguazú compuesta por 50 % de tierra y 50 % de arena gruesa, sin incorporación de cemento, alcanzó una resistencia máxima de 1,95 MPa y una mínima 1.40 MPa.

De manera análoga, en el presente trabajo las mezclas con RCD evidenciaron un desempeño próximo alcanzado de 1,5 MPa, en esta serie I (la siguiente La serie II presenta mejores resultados) lo que demuestra que la utilización de residuos reciclados puede ser una alternativa técnica viable y sostenible, sin disminuir la capacidad mecánica en relación con soluciones tradicionales de suelo-arena.

4.2 Resultados Serie II

Los análisis de resultados obtenidos en los bloques BTC a los 28 días la Tabla 15 evidencian un comportamiento directamente relacionado con la variación

porcentual de residuos de construcción y demolición (RCD) en la mezcla. La máxima resistencia a compresión registrada fue de 1,94 MPa para la dosificación 50 % suelo – 50 % RCD, valor que se encuentra por encima del límite mínimo de 1,7 MPa exigido por la NBR 8492:2012 para bloques de suelo-cemento compactados, confirmando la viabilidad estructural de esta proporción.

En contraposición, las dosificaciones con contenidos superiores de RCD (60/40, 70/30 y 80/20) presentaron resistencias de 1,53; 1,44 y 1,28 MPa, respectivamente, todas por debajo del valor normativo de referencia. Esta disminución progresiva se atribuye al desbalance en la curva granulométrica y a la reducción de finos aportados por el suelo, lo que genera una matriz con menor cohesión interna y mayor índice de vacíos, afectando la capacidad portante del material.

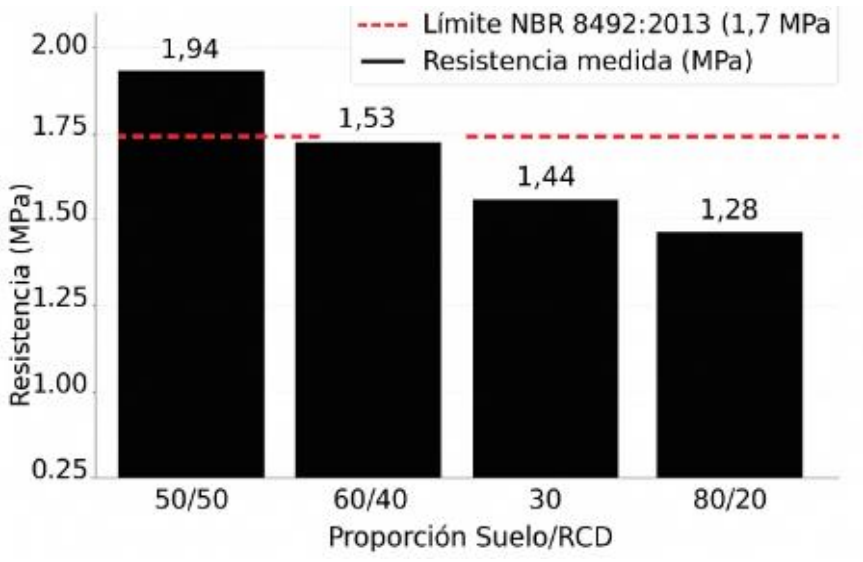
Tabla 15. Resultados de compresión en el laboratorio de Concretos Terrano

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE BTC				
CPN°	(RCD/SOLO)	MPa	Dimensiones	Edad del CP (días)
1	50/50	1,94	250mm x 125mm	28
2	60/40	1,53	250mm x 125mm	
3	70/30	1,44	250mm x 125mm	
4	80/20	1,28	250mm x 125mm	

Fuente: Laboratorio Terrano, 2025.

La tendencia observada confirma que el desempeño óptimo se alcanza en condiciones de equilibrio entre fracción fina (suelo) y fracción gruesa (RCD), donde la compactación logra mayor densificación y mejor transmisión de esfuerzos. En mezclas con exceso de RCD, la resistencia mecánica se ve comprometida, lo que indica la necesidad de realizar ajustes en la dosificación, ya sea mediante control granulométrico, adición de estabilizantes o corrección del contenido de humedad, con el fin de aproximar o superar el umbral normativo establecido, como se ilustra en el Grafico 4.

Gráfico 4. Resistencia a compresión serie II



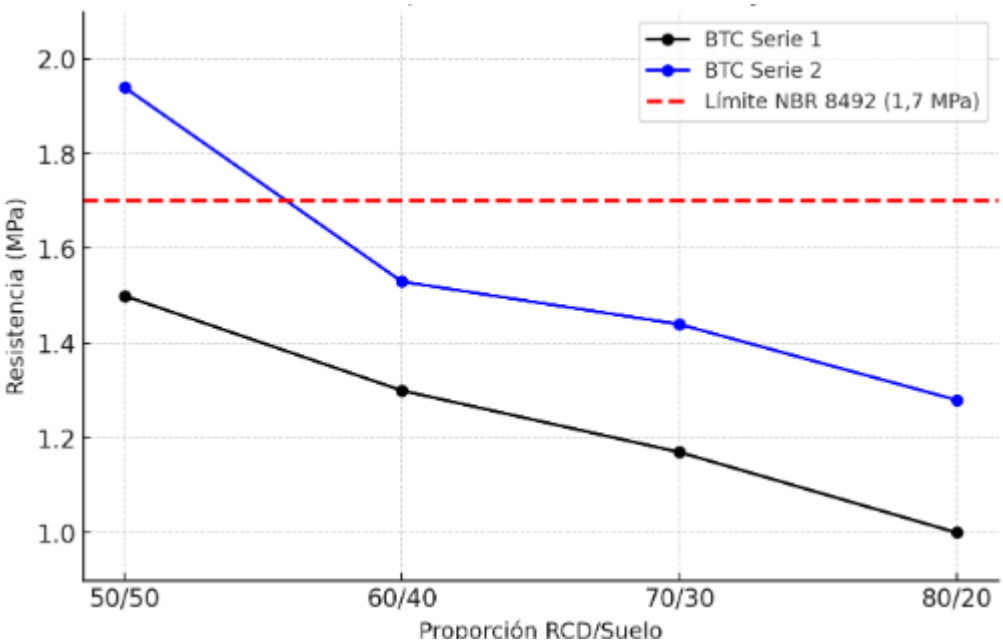
Fuente: Autora, 2025.

4.2.1 Análisis (BTC) serie I y II

El grafico 5 muestra la representación metodológica de los valores de resistencia a compresión obtenidos para bloques de tierra comprimida (BTC) elaborados con diferentes proporciones de suelo y RCD. En el gráfico se distinguen dos series experimentales comparativas, expresadas mediante curvas diferenciadas, y una línea de referencia correspondiente al límite normativo establecido por la NBR 8492:2012. Esta estructura gráfica permite organizar y contrastar de manera sistemática los datos experimentales frente al criterio reglamentario adoptado.

Las diferencias observadas en los resultados de resistencia a compresión, reflejadas en el grafico anterior, se explican por la interacción de tres factores principales. En primer lugar, el control de compactación no fue homogéneo en las etapas iniciales, lo que generó variabilidad en la densificación de los BTC.

Gráfico 5. Comparativo ensayo a compresión serie I y II.



Fuente: Autora, 2025.

En segundo término, fue necesario realizar ajustes en la máquina compactadora, ya que la presión aplicada no estaba garantizando una transferencia uniforme de carga en los moldes. Finalmente, la modificación de la mezcla, asociada al incremento progresivo del porcentaje de RCD en sustitución del suelo, alteró la curva granulométrica y redujo la cohesión interna de los especímenes. En conjunto, estos aspectos explican la disminución de resistencia registrada en las series con mayor proporción de RCD frente al desempeño superior alcanzado en la dosificación equilibrada 50/50.

4.2.3 Resultados y análisis de los adobes

Se presentan los valores obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión de adobes elaborados con una dosificación de 50 % suelo y 50 % RCD, evaluados a los 28 días de curado, como se muestra en la Tabla 16. Estos resultados permiten cuantificar el desempeño mecánico de los especímenes bajo condiciones controladas de laboratorio; sin embargo, no fue posible ampliar la serie de ensayos con diferentes

porcentajes de mezcla debido a limitaciones de tiempo, motivo por el cual esta técnica se considera de carácter referencial dentro del presente estudio.

Los resultados de resistencia a compresión de los adobes de referencia muestran valores comprendidos entre 1,0 MPa y 1,28 MPa a los 28 días de curado. Se observa un incremento progresivo en la capacidad resistente de los prototipos, lo cual puede atribuirse a una mejor redistribución de los finos y a la compactación manual del material en el proceso de moldeado.

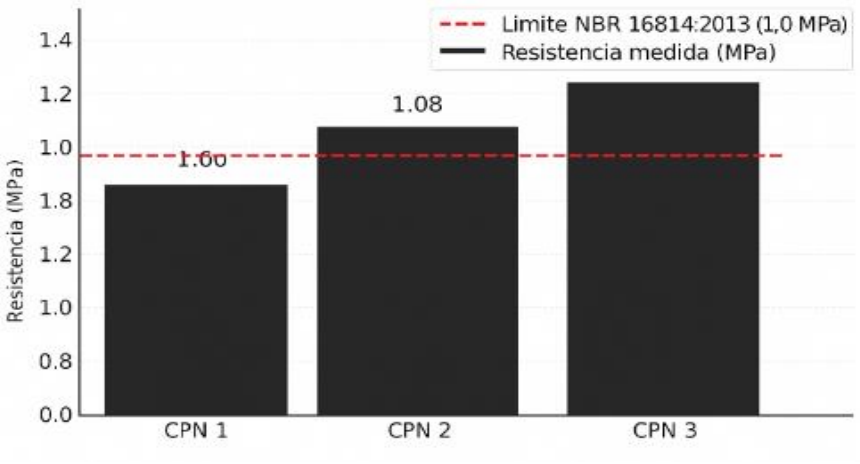
Tabla 16. Resultados de compresión a los prototipos experimentales en el laboratorio De concretos Terrano.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOBES				
CPN°	(RCD/SOLO)	MPa	Dimensiones	Edad del CP (días)
1	50/50	1,0	300mm x 150mm	28
2	50/50	1,08	300mm x 150mm	
3	50/50	1,28	300mm x 150mm	

Fuente: Autora, 2025.

El primer cuerpo de prueba (CPN 1) registró 1,0 MPa, mientras que el tercero (CPN 3) alcanzó el mayor valor, 1,28 MPa, indicando una mejora del 28% en relación con el valor inicial. Estos valores se encuentran en el rango mínimo establecido por la NBR 16814:2020 – Adobe – Determinación de la resistencia a la compresión (ABNT, 2020), que exige al menos 1,0 MPa para adobes de uso no estructural como se muestra en el Grafico 6.

Gráfico 6. Ensayo a compresión Adobe.



Fuente: Autora, 2025.

De acuerdo con la gráfica anterior, El comportamiento del adobe 50/50 mostró una tendencia ascendente en los valores de resistencia entre los tres especímenes, indicando que, pese a la variación intrínseca de las muestras, la mezcla mantuvo una capacidad portante adecuada dentro de los parámetros normativos.

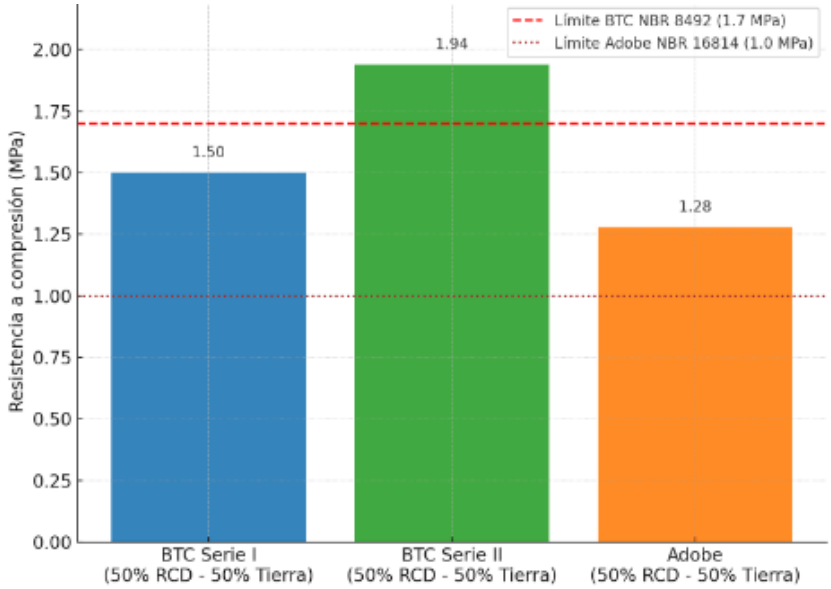
El cumplimiento del valor mínimo de la NBR 16814:2020 confirma que la incorporación de RCD en proporciones equilibradas no compromete la integridad mecánica del adobe, consolidándose como una alternativa sostenible y regulatoriamente aceptable para aplicaciones constructivas

4.2.4 Comparativo de resultados de ensayo de compresión de BTC y Adobe

Se expone la confrontación de los valores de resistencia a compresión obtenidos en bloques de tierra comprimida (BTC) de las series 1 y 2, junto con los resultados de adobes fabricados con una dosificación equivalente de suelo y RCD. Esta exposición permite examinar el desempeño mecánico de ambas tipologías constructivas en condiciones de laboratorio estandarizadas y verificar su correspondencia con los criterios mínimos definidos por la NBR 8492:2012 y la NBR 16814:2020, tal como se representa en el Gráfico 7**.**

Gráfico 7. Comparativo de ensayos de BTC y Adobe

Fuente: Autora, 2025.



Por lo tanto, en las dosificaciones de 50 % suelo – 50 % RCD, únicamente la Serie 2 de BTC alcanzó valores superiores al límite de 1,7 MPa establecido por la NBR 8492:2012, evidenciando la relevancia del control de compactación y de la dosificación equilibrada.

Las series con mayores porcentajes de RCD (60/40, 70/30 y 80/20) presentaron disminuciones progresivas de resistencia, todas por debajo del umbral normativo, confirmando que el exceso de residuos reduce la cohesión y la densificación del material.

En el caso de los adobes, los resultados oscilaron entre 1,00 y 1,28 MPa, superando el límite mínimo de 1,0 MPa definido en la NBR 16814:2020, aunque sin alcanzar niveles de desempeño equivalentes a los BTC. Esto permite considerar los adobes como viables dentro de su categoría normativa, pero con limitaciones frente a los bloques comprimidos.

Por último, el análisis integrado de los ensayos evidencia que el desempeño mecánico más favorable se alcanzó con proporciones balanceadas de RCD y suelo, condición en la cual se logró cumplir con los requisitos normativos de resistencia a compresión y, al mismo tiempo, asegurar la estabilidad estructural del material.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Los resultados confirman la hipótesis inicial, ya que los bloques de tierra cruda con adición de residuos de construcción y demolición (RCD) alcanzan rendimientos físicos y mecánicos compatibles con los criterios de sostenibilidad actuales. El análisis comparativo mostró mejoras significativas en resistencia y estabilidad sin necesidad de cemento Portland. Además, se confirmó su factibilidad técnica y ambiental, lo que promueve su implementación práctica en entornos urbanos y rurales. En conjunto, estos resultados refuerzan la viabilidad de la economía circular como un nuevo enfoque en la construcción civil.

La experimentación de mezclas en diferentes proporciones de suelo y escombros permitió definir combinaciones con buenas propiedades físicas y mecánicas, aptas para la elaboración de bloques tipo BTC y adobes estabilizados. Esta manera no sólo fomenta el uso de materiales locales, sino que también ayuda a disminuir el impacto ambiental en la construcción. Pero una de las limitaciones encontradas fue que se requiere un control estricto en la selección y tratamiento de los RCD, ya que al ser tan variables pueden influir en la homogeneidad del producto final.

Esta investigación demostró que es posible crear una alternativa constructiva a base de tierra y RCD que cumpla con las exigencias técnicas y ambientales actuales. Esta es una forma alternativa real al ladrillo tradicional y que ayuda a solucionar el problema de los residuos y a una construcción más responsable. Entre sus beneficios se encuentran el bajo impacto ambiental, el menor costo y la adaptabilidad a entornos rurales y urbanos. Como puntos críticos, es necesario una mayor divulgación y capacitación técnica para su aplicación a gran escala, principalmente en regiones donde aún prevalecen modelos constructivos tradicionales.

Este estudio experimental identificó como óptima la dosificación 50% tierra y 50% RCD, alcanzando una resistencia a la compresión de 1,94 MPa, adecuada para aplicaciones no estructurales. La mezcla mostró buena trabajabilidad y estabilidad sin requerir cemento Portland. Además, ofrece una solución técnica y ambientalmente viable al reutilizar residuos de construcción. Su implementación es factible tanto en zonas urbanas como rurales. Los resultados validan el potencial de materiales alternativos dentro de una estrategia de economía circular en la construcción.

En conclusión, esta investigación proporciona la base tecnológica para la creación de nuevos materiales constructivos sustentables, en concordancia con las políticas ambientales y la meta mundial de disminuir la huella de carbono en el sector. Además, sienta las bases para futuras investigaciones hacia la innovación en tecnologías con tierra cruda, integrando conocimientos tradicionales y soluciones contemporáneas en la edificación.

5.1 Proyecciones y Líneas de Investigación Futura

La presente investigación abre diversas líneas que pueden ser exploradas en trabajos posteriores. En primer lugar, se recomienda profundizar en la caracterización granulométrica de los RCD y su influencia en las propiedades mecánicas y de durabilidad de los bloques de tierra cruda, dado que la variabilidad de los residuos constituye una de las principales limitaciones identificadas. Asimismo, resulta pertinente evaluar la incorporación de aditivos naturales o subproductos industriales, como cal, fibras vegetales o cenizas, con el propósito de mejorar la resistencia a la compresión y reducir la absorción de humedad sin recurrir al uso de cemento Portland.

Otra línea relevante consiste en realizar ensayos de durabilidad a largo plazo, considerando ciclos de intemperismo, erosión hídrica y exposición prolongada a ambientes húmedos, condiciones propias de regiones como Foz do Iguazú. De igual forma, sería recomendable implementar modelos numéricos de simulación estructural que permitan predecir el comportamiento del material en diferentes escenarios de carga y tipologías constructivas.

Desde la perspectiva práctica, futuros estudios podrían enfocarse en la validación a escala piloto mediante proyectos de vivienda social, analizando el desempeño del material en condiciones reales de obra, así como su aceptación social y económica. Finalmente, se sugiere avanzar en la integración de normativas nacionales e internacionales, promoviendo ajustes en las regulaciones vigentes que fortalezcan la adopción de materiales basados en tierra cruda y RCD dentro de la construcción sostenible.

REFERENCIAS

ASPÍLLAGA, A. M. L**.** Systematic review on the use of biodegradable materials as a sustainable building strategy: Adobe and Tapia**. Herança,** v. 7, n. 4, artigo 1075, 2024. DOI: 10.52152/heranca. v7i4.1075. Disponible en: https://doi.org/10.52152/heranca.v7i4.1075. Acceso en: 02 mar. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural.** Rio de Janeiro, p.5. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, p.4. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13553: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural.** Rio de Janeiro, p. 3. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554: Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, p. 4. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13555: Solo-cimento – Determinação da absorção de água – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, p. 1. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, p. 7. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, p. 5. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, p. 8. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, p.3. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo (2016). Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, p. 14. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo Maciço de Solo cimento - Determinação da resistência a compressão e da absorção de água.** Rio de Janeiro, p.8. 1984.

BAILLY, G. C.; EL MENDILI, Y.; KONIN, A.; KHOURY, E. Advancing Earth-Based Construction: A Comprehensive Review of Stabilization and Reinforcement Techniques for Adobe and Compressed Earth Blocks**. Eng, v. 5, n. 2, p. 750–783,** 2024. DOI: 10.3390/eng5020041. Disponíble en: https://doi.org/10.3390/eng5020041. Acceso en: 12 abr. 2024.

BAUTISTA DAVILA, L. P. **Adobe Reforzado con Fibras de Coco, Cascarilla de Arroz, Paja, Ceniza Volante, Arcilla Cocida y su Aplicación a la Construcción**.2022. Tesis (Arquitectura). Universidad de Boyacá. Disponible en: https://repositorio.uniboyaca.edu.co/bitstream/handle/uniboyaca/793/Trabajodegrado_Leidy%20Paola%20Bautista_removed.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acceso en:02 mar. 2024.

BLONDET, M.; VARGAS, J.; TARQUÉ, N.; IWAKI, C. **Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea** de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Informes de la Construcción, v. 63, n. 523, p. 41–50, 2011. Disponible en: https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1251. Acceso en: 10 mar. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** - Planares [recurso eletrônico] / Brasília, DF: MMA, 2022. Disponible en: https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acceso en: 04 mar. 2024.

BRAVO-GERMAN, A. Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregates Obtained from Old Paving Stones. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3044, 10 mar. 2021. Disponible en: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3044. Acceso en: 06 mar. 2024.
BREDENOORD, jan. Compressed Stabilized Earthen Blocks and Their Use in Participatory Social Housing. **Sustainability, v. 15, n. 6, art. 5295, 2023**. Disponible en: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/5295. Acceso en: 13 mar. 2024.

CABRERA, S.; LOSA, N.; DARRÁS, G. Fabricación de mampuestos de tierra con reciclado de residuos de la minería de arena en Río Negro, Argentina. **Revista Tecnología y Ciencia**, [S.L.], n. 48, p. 22-40, 6 nov. 2023. Universidad Tecnologica Nacional. Disponible en: http://dx.doi.org/10.33414/rtyc.48.22-40.2023. Acceso en: 14 jul. 2024.

CÁRDENAS-GÓMEZ, J. C.; BOSCH GONZALES, M.; DAMIANI LAZO, C. A. Evaluation of Reinforced Adobe Techniques for Sustainable Reconstruction in Andean Seismic Zones. **Sustainability, v. 13, n. 9, p. 4955, 28** abr. 2021.Disponible en: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/4955. Acceso en: 16 mar. 2024.

CASTILLO, A.; OMAR; ENCINA, L. **Propuesta de mejoramiento de las características físicas y mecánicas de la unidad de adobe con la adición de engrudo de almidón de yuca y agregados finos obtenidos de residuos de demolición de concreto en el distrito de Huambo**, provincia Rodríguez de Mendoza, región Amazonas.Tesis de grado ingeniería civil. 2023. Universidad Peruana de ciencias Aplicadas.Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670246. Acceso en: 11 abr. 2024.

CHÁVEZ, J. **Resistencia a la compresión del adobe artesanal con fibra de coco,** Cajamarca (2023–2024). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2024. Disponible en: https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/671/1/T_Torres%20Garc%C3%ADa%20y%20Astochado%20Perez.pdf Acceso en: 21 abr. 2024.

COCCO, G.; BRANDO, G.; SPACONE, E. A review of local construction practices applied on unreinforced adobe buildings in South America. Frontiers in Built **Environment, v. 8, art. 974005, 2022**. Disponíble en: https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.974005. Acceso en: 18 mar. 2024.

COTTRELL, J. A.; ALI, M.; ETIENNE, G. Utilisation of construction, demolition and excavation waste for the production of compressed trommel fines blocks. **Construction and Building Materials,** v. 416, p. 134985, fev. 2024.Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824001260?via%3Dihub Acceso en: 15 mar. 2024.

CRUZ, R.; BOGAS, J. Durability of compressed earth blocks stabilised with recycled cement from concrete waste and incorporating construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 450, p. 138673–138673, 18 out. 2024. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138673 Acceso en: 21 mar. 2024.

CUNHA, G. R; SEOLIN, J. M. **Caracterização de solo para taipa de pilão e paredes monolíticas de solo-cimento em Foz do Iguaçu**. In: Neves, C.; FARIA, O. B.; MAIA, L. (ed.) Anais do 8º Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil**.** Florianópolis: Terra Brasil/UFSC, 2022. Disponible en: http://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2022/01/Livro-TerraBrasil-2022.pdf. Acceso en: 17 may. 2024.

DA SILVA, S. R.; ANDRADE, J. J. de O. (2022). A Review on the Effect of Mechanical Properties and Durability of Concrete with Construction and Demolition Waste (CDW) and Fly Ash in the Production of New Cement Concrete. **Sustainability,** 14(11), 6740.Disponible en: https://doi.org/10.3390/su14116740. Acceso en: 23 mar. 2024.

DÍAZ VERA, N.; GONZÁLEZ ESCALANTE, S.; VELÁSQUEZ HUAYTA, A. **Resistencia a compresión y flexión del adobe tradicional reutilizando residuos**

de ladrillo de arcilla provenientes de la demolición de obras de Cajamarca, 2023. Disponible en: https://hdl.handle.net/11537/37144. Acceso en: 28 mar. 2024.

ESCALANTE, A. Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0. **Hybrid Event**. 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/389005149_Technology_Sustainable_Engineering_for_a_Diverse_Equitable_and_Inclusive_Future_at_the_Service_of_Education_Research_and_Industry_for_a_Society_50_Hybrid_Event. Acceso en: 13 jul. 2024.

ESGUÍCERO, F. J. Construction and demolition waste management process modeling: a framework for the Brazilian context. **Journal of Material Cycles and Waste**. Management, v. 23, n. 5, p. 2037–2050, 24 maio 2021.Disponible en : https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-021-01247-y Acceso en: 11 jul. 2024.

EUROPEAN COMISSION. **EU Construction and Demolition Waste Protocol**. [S. l.], 18 set. 2023. Disponible en: https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-2018-09-18_en. Acceso en: 10 jun. 2024.

FERNÁNDEZ, P.; PIERRE, A. **Influencia del vidrio triturado de cerveza en la resistencia a la compresión del adobe**, Jaén – 2022. Ucv.edu.pe, 2022.Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104347. Acceso en: 30 mar. 2024.

GHERMAN, I.-E. Circularity Outlines in the Construction and Demolition Waste Management: A Literature Review. **Recycling**, v. 8, n. 5, p. 69–69, 11 set. 2023.Disponible en: https://www.mdpi.com/2313-4321/8/5/69. Acceso en:10 may. 2024.

GOMES, C. D. A. C.; et al. Valorization of piassava fiber by its incorporation in adobe bricks. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, e20231234, 2024. Disponíble en: https://www.scielo.br/j/aabc/a/TT34Pzq8WTpDTZfQqmLnpGp/?lang=en. Acceso en: 11 jul. 2024.

GONÇALVES, L. **Preditores do Resíduo na Construção Civil para o Mapeamento do Descarte Irregular em Foz do Iguaçu – PR**. 2021. 85 págs. Disertación (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Unila, Foz do Iguaçu, 2021. Disponible en: https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/6243. Acceso en: 06 jul. 2024.

GUEVARA ROBALINO, J**. Uso de residuos agroindustriales para la estabilización de adobes**. [S.l.]: Universidad de Burgos, Tesis Doctoral, 2021. Disponíble en: https://riubu.ubu.es/bitstream/10259/7816/1/Guevara_Robalino_Jorge.pdf. Acceso en: 02 jul. 2024.

HART, J. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. **Procedia** CIRP, v. 80, p. 619–624, 2019. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015. Acceso en: 02 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (México). **Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente (5 de junio).** Comunicado de prensa n. 65/25, 3 jun. 2025. [s.l.], 2025. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2025/EAP_MedioAmb_25.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acceso en: 15 jun. 2024.

JOVÉ-SANDOVAL, F. Characterisation and thermal improvement of adobe walls. **Journal of Material Research and Technology**, 2024. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1557/s43580-023-00630-1. Acceso en: 17 mar. 2024.

JUNIOR, P.; TEIXEIRA, E.; MATEUS, R. Improving the mechanical, thermal and durability properties of compressed earth blocks by incorporating industrial waste and by-products: A systematic literature review. **Construction & building materials**, v. 438, p. 137063–137063, 1 ago. 2024 Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824022050. Acceso en: 08 mar. 2024.

KULSHRESHETHA, Y.; Biological Stabilisers in Earthen Construction: A Mechanistic Understanding of Their Response to Water-Ingress. **Construction Technologies and Architecture** (CTA Online), v. 1, p. 529–539, 2022. DOI: 10.4028/www.scientific.net/CTA.1.529. Disponible en: https://repository.tudelft.nl/file/File_4cb13e5d-2c95-4ada-9141-be1f6c24e7e6?preview=1. Acceso en: 18 mar. 2024.

LEGISWEB. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. [S. l.], 5 jul. 2002. Disponible en: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303. Acceso en: 11 jun. 2024.

LIMA, Nívea. **Análise da viabilidade do uso de agregado reciclado graúdo misto em concretos estruturais**. 2024. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024. Disponible en: https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/14469. Acceso en: 13 may. 2024.

LÓPEZ-REBOLLO, J.; CÁRDENAS-HARO, X.; PARRA-VARGAS, J.; NARVÁEZ-BERREZETA, K.; PINO, J. Improvement of mechanical properties of compressed earth blocks with stabilising additives for self-build of sustainable housing. **Buildings,** v. 14, n. 3, art. 664, 2024. DOI: 10.3390/buildings14030664. Disponíble en: https://doi.org/10.3390/buildings14030664. Acceso en: 07 mar. 2024.

MADUABUM, A. An insight into the history of earthen architecture. International Research **Journal of Modern Engineering and Technological Science,** v. 6, n. 7, p.

–, ago. 2024. Disponíble en: https://www.researchgate.net/publication/383463022_AN_INSIGHT_INTO_THE_HISTORY_OF_EARTHEN_ARCHITECTURE. Acceso en: 08 sept. 2024.

MAURICIO, A. C. The earliest adobe monumental architecture in the Americas. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** v. 118, n. 48, p. e2102941118, 15 nov. 2021.disponible en: https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2102941118. Acceso en: 25 mar. 2024.

MEJÍA-DE-GUTIÉRREZ, R.; ROBAYO-SALAZAR, R.; VALENCIA-SAAVEDRA, W. Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina. Revista de la **Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 47, n. 184, p. 505–519, 5 set. 2023.Disponible en: https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/esiduos_de_construccion_y_demolicion_como_materia_prima_de_concr. Acceso en: 07 jul. 2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019**. [*S. l.*], 10 jan. 2023. Disponible en: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2019. Acceso en: 10 may. 2024.

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. **Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, Por El Que Se Regula La Producción y Gestión de Los Residuos de Construcción y Demolición.** Brasilia, p. 1-13. Disponible en: https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2486-consolidado.pdf. Acesso em: 18 may. 2024.

MOKEDDEM, S. Mechanical and physical properties of stabilized compressed earth block (CEB) reinforced with date palm wood chips. Brazilian **Journal of Technology**, v. 7, n. 4, p. e75934–e75934, 16 dez. 2024.Disponible en: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/view/75934. Acceso en: 18 jun. 2024.

MOLAR-OROZCO, M. E.; VELÁZQUEZ-LOZANO, J.; VÁZQUEZ-JIMÁNEZ, M. G. Unreinforced adobe blocks stabilized with recycled aggregates: mechanical and hygrothermal assessment. **Hábitat Sustentable**, v. 10, p. 22–31, 2021. Disponible en: https://idus.us.es/bitstreams/52e3570c-d9ab-4be3-be28-240dbaf699b0/download. Acceso en: 11 may. 2024.

MORA-RUIZ, V. Sustainable Earthen Construction: A Meta-Analytical Review. **Buildings,** v. 15, n. 6, art. 918, 2025. Disponible en: https://www.mdpi.com/2075-5309/15/6/918. Acceso en: 11 sept. 2024.

MORA-RUÍZ, V.; SOTO-PAZ, J.; ATTIA, S.; MEJÍA-PARADA, C.; Sustainable Earthen Construction: A Meta-Analytical Review of Environmental, Mechanical, and Thermal Performance. **Buildings**, v. 15, n. 6, art. 918, 2025. DOI: 10.3390/buildings15060918. Disponíble en: https://doi.org/10.3390/buildings15060918. Acceso en: 06 jun. 2024.

MOVIMIENTO CIRCULAR. **Brasil produce 48 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición**. [S. l.], 18 jan. 2024. Disponible en: https://movimentocircular.io/es/blog/brasil-produce-48-millones-de-toneladas-de-residuos-de-construccion-y-demolicion. Acceso en: 28 jul. 2024.

OLIVEIRA, J., BERGER, L.; NASCIMENTO, P.; RIBEIRO LIMA, F.; FREITAS COSTA, L. Resíduos sólidos de construção e demolição: panorama geral e uma proposta para Goiânia – GO. In: **ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO – ENSUS, 9**., 2023, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. p. 83–96. Disponible en: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/246956/artigo%2061%5B1%5D%20%283%29%2083-96.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acceso en: 25 mar. 2024.

ONU-HABITAT. ONU-Habitat - **Reporte Anual 2020**. Disponíble en: https://onu-habitat.org/index.php/onu-habitat-reporte-anual-2020 Acceso en: 17 jul. 2024.

PEDERSON, F. Effects on the compressive strength of cement-stabilized rammed earth blocks with varied content of buffelgrass-based fibers in wet-dry conditions. **Frontiers in Built Environment**, v. 10, 19 abr. 2024 Disponible en: https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2024.1362254/full. Acceso en: 18 jul. 2024.

PEREIRA, P. M.; VIEIRA, C. S. A literature review on the use of recycled construction and demolition materials in unbound pavement applications. **Sustainability**, v. 14, n. 21, art. 13918, 2022. Disponíble en: https://doi.org/10.3390/su142113918. Acceso en: 18 jul. 2024.

POON, C.-S.; CHAN, D. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 3, p. 293–305, maio 2007.disponible en: https://www.researchgate.net/publication/223401248_The_use_of_recycled_aggregate_in_concrete_in_Hong_Kong. Acceso en: 19 jul. 2024.

QUIROGA, P. (2022). **La construcción, responsable del 40% de los residuos en Colombia ¿El reciclaje como solución?** Disponible en: https://www.construccionlatinoamericana.com/news/la-construccion-responsable-del-40-de-los-residuos-en-colombia-el-reciclaje-como-solucion-/8034594.article. Acceso en: 16 jul. 2024.

RECICLAMÁS. **Residuos de construcción y demolición (RCD): ¿A qué hacen referencia y por qué es importante su gestión?** [S. l.], 9 abr. 2024. Disponible en:

https://www.reciclamas.com/blog/residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-a-que-hacen-referencia-y-por-que-es-importante-su-gestion/. Acceso en: 17 jul. 2024.

REDE TERRABRASIL. **Ebook: Arquitetura e Construção com Terra no Brasil**. [S. l.], 6 jun. 2022. Disponible en: https://redeterrabrasil.net.br/ebook-arquitetura-e-construcao-com-terra-no-brasil/. Acceso en: 13 jul. 2024.

resistencia a la compresión del adobe, Jaén – 2022. Disponíble en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_d4ff718621868a849f0b3edc72846158/Details. Acceso en: 18 jul. 2024.

RIVERA-SALCEDO, H.; VALDERRAMA-ANDRADE, O.; DAZA-BARRERA, Á.; PLAZAS-JAIMES, G. (2020). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía Casanare Colombia. **Revista de Arquitectura**. Disponible en: https://doi.org/10.14718/revarq.2021.2762. Acceso en: 15 mar. 2024.

ROBALINO, J. **Elaboración de bloques tradicionales incorporando material reciclado para la mejora del acondicionamiento térmico y acústico en viviendas rurales de ecuador**. 2022. 206 f. Tesis (Doctorado) - Curso de Ingeniería Civil, Ingeniería Civil, Universidad de Burgos, Burgos, 2022. Disponible en: https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/7816/Guevara_Robalino_Jorge.pdf. Acceso em: 18 mar. 2024.

ROJAS-MEGO, L**. Aplicación del vidrio molido como agregado en materiales de construcción de bajo impacto**. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo,2023 Disponible en:https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6813/1/TL_RojasMegoLimber.pdf. Acceso en: 20 jul. 2024.

SANDOVAL, J.; GARCÍA, E.; BARRERA, M. Characterisation and thermal improvement of adobe walls from earth-straw lightweight panels. MRS **Advances**, v. 9, n. 2, p. 71–77, 25 ago. 2023.Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1557/s43580-023-00630-1. Acceso en: 11 may. 2024.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. Cement and Concrete **Research**, v. 114, p. 2–26, dez. 2018.Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884618301480?via%3Dihub. Acceso en: 17 jul. 2024.

SHAJIDHA, H.; MORTULA, M. (2025) Sustainable waste management in the construction industry. **Front. Sustain. Cities.** 7:1582239. Disponible en: doi: 10.3389/frsc.2025.1582239. Acceso en: 02 may. 2025.

SILVA, F.; ARJONA, S. D. Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocompactantes. **Informador técnico**, v. 85, n. 1, p. 20–33, 2021. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7868815. Acceso en: 13 jul. 2024.

SILVA, K. Resíduos sólidos na construção civil no Brasil. Revista de Gestão e Secretariado. **Management and Administrative Professional Review**, v. 14, n. 6, p. 8671–8692,6 jun. 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/371407817_Residuos_solidos_na_construcao_civil_no_Brasil Acceso en: 17 mar. 2024.

SINHA, S. Building a Greener Future: How Earth Blocks Are … **Sustainability,** v. 5, n. 2, art. 25, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2673-8945/5/2/25. Acceso en: 10 jun. 2024.

SUMERENTE, G. Assessment of Combined In-Plane and Out-of-Plane Fragility Functions for Adobe Masonry Buildings in the Peruvian Andes. **Frontiers in Built Environment**, v. 6, 8 maios 2020. Disponible en: https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2020.00052/full. Acceso en: 02 jul. 2024.

TAM, C. Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study. **Building and Environment,** 1 jan. 2006.Disponible en: https://research-repository.griffith.edu.au/bitstreams/904c0eb7-4fce-5077-8388-16917710c37d/ Acceso en: 11 jul. 2024.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 47, n. 3, p. 209–221, 1 jun. 2006.Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.12.002. Acceso en: 13 jul. 2024.

TUĞALAN, E; YENIGÜN, I. Reuse of Excavation Waste as Compressed Earth Block Construction Material (Kerpic'22 -Re-Thinking Earthen Architecture for Sustainable Development 9 th International Conference). Kerpic'22 -**Re-Thinking Earthen Architecture for Sustainable Development 9 th International Conference**, 28 jun.2023 disponible en: https://www.researchgate.net/publication/371936345_Reuse_of_Excavation_Waste_as_Compressed_Earth_Block_Construction_Material_Kerpic'22_-Re-Thinking_Earthen_Architecture_for_Sustainable_Development_9_th_International_Conference. Acceso en: 05 may. 2024.

TURCO, C. Influence of Particle Size on Compressed Earth Blocks Properties and Strategies for Enhanced Performance. **Applied Sciences**, v. 14, n. 5, p. 1779, 22 fev. 2024.Disponible en : https://www.mdpi.com/2076-3417/14/5/1779. Acceso en: 02 jun. 2024.

UKWIZAGIRA, G.; MBEREYAHO, L. Strength Assessment of Improved Adobe Brick Using Natural Stabilizers. Mediterranean **Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 07, n. 01, p. 14–26, 2023.disponible en: https://www.researchgate.net/publication/368747084_Strength_Assessment_of_Improved_Adobe_Brick_Using_Natural_Stabilizers. Acceso en: 03 jul. 2024.

VIRGILIO, O. **Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad** de Cajamarca. Unc.edu.pe, 2018.Disponible en: https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2528. Acceso en: 01 jul. 2024.