

# Effect of cattail content (*Scirpus californicus*) on the physical-mechanical properties of masonry units obtained from construction and demolition waste, Trujillo 2022

Flores Flor, Bachelor<sup>1</sup>, Azañedo Wiston, Master<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [n00082420@upn.pe](mailto:n00082420@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Perú, [wiston.azanedo@upn.edu.pe](mailto:wiston.azanedo@upn.edu.pe)

*The problem of contamination by Construction and Demolition Waste seriously affects the countries of China, the United States, Vienna, Lombardy and Brazil, despite their efforts to manage and reuse it. In Peru, the situation is not different, this is evidenced by the large amounts of RCD accumulated on the periphery of cities, as happens in Trujillo, La Libertad region. Therefore, this research was carried out taking advantage of the RCD and a local vegetable fiber with the purpose of determining the effect of the cattail content on the physical-mechanical properties of the masonry units obtained from these residues. To elaborate these units, the RCDs were collected, selected and crushed, the dosages were improved and the mixture was elaborated according to the experimental procedure detailed in the investigation. The data was collected through the technique of direct observation to laboratory tests. A standard sample, another sample with an increase of 1% of cattails, another sample with an increase of 2% of cattails, and another sample with an increase of 3% of cattails with respect to the mass of the brick were analyzed. It was concluded that, in the dimensional variation and warpage test, the results are within the established parameters, in the flexural modulus of rupture resistance test, high levels of resistance are reached, in the compression resistance test of the units of masonry and in the compression resistance test of the adobe walls do not meet the established parameters, however, in the mortar tensile strength test of the masonry units they do meet the permitted parameters. It is recommended to use cement as a mortar instead of earth and sand to improve resistance properties, and to evaluate new local plant fibers.*

**Keywords--** CDW, cattail, plant fibers, brick, masonry unit

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Efecto del contenido de totora (*Scirpus californicus*) en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería obtenidas a partir de residuos de construcción y demolición, Trujillo 2022

Flores Flor, Bach.<sup>1</sup>, Azañedo Wiston, Mg.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, n00082420@upn.pe

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Perú, wiston.azanedo@upn.edu.pe

*El problema de la contaminación por Residuos de Construcción y Demolición afecta gravemente a los países de China, Estados Unidos, Viena, Lombardía y Brasil, a pesar de sus esfuerzos para gestionarlos y reusarlos. En Perú, la situación no difiere, esto se evidencia en las grandes cantidades de RCD acumulados en la periferia de las ciudades, como ocurre en Trujillo, región La Libertad. Por ello, se realizó esta investigación aprovechando los RCD y una fibra vegetal local con el propósito de determinar el efecto del contenido de totora en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería obtenidas a partir de estos residuos. Para elaborar estas unidades se recolectaron los RCD, seleccionaron y trituraron, se diseñó las dosificaciones y se elaboró la mezcla de acuerdo con el procedimiento experimental detallado en la investigación. Los datos se recolectaron a través de la técnica de Observación directa a ensayos de laboratorio. Se analizaron una muestra patrón, otra muestra con adición de 1% de totora, otra muestra con adición de 2% de totora, y otra muestra con adición de 3% de totora respecto la masa del ladrillo. Se concluyó que, en el ensayo de variación dimensional y alabeo los resultados están dentro de los parámetros establecidos, en el ensayo de Resistencia a la flexión módulo de rotura se alcanzan altos niveles de resistencia, en el ensayo de Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería y en el ensayo de Resistencia a la compresión de los muretes de adobe no cumplen los parámetros establecidos; sin embargo, en el ensayo de Resistencia de mortero a la tracción de las unidades de albañilería sí cumplen los parámetros permitidos. Se recomienda usar cemento como mortero en lugar de tierra y arena para mejorar las propiedades de resistencia, y evaluar nuevas fibras vegetales locales.*

*Palabras clave-- RCD, totora, fibras vegetales, ladrillo, unidad de albañilería*

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del contenido de totora (*Scirpus californicus*) en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería obtenidas a partir de residuos de construcción y demolición.

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) provienen de actividades como demolición, obra nueva y rehabilitación, ya sea de carácter público o privado. Además, son en su mayoría ladrillo y hormigón [1], [2].

La actividad de la construcción tiene como principal característica la insostenibilidad [3], genera directamente RCD.

En otros lugares del mundo también presentan este grave problema, que se ha venido atenuando con la aplicación de políticas y normativas ambientales, y con reformas en la gestión de estos residuos, pero el desarrollo en cada país es desigual.

En Perú esta situación se agrava con el aumento de viviendas particulares en situación de construcción o reparación, trayendo consigo la acumulación de RCD, el último registro a nivel nacional fue de 111 751 viviendas en esa situación [4], [5]. Asimismo, en nuestro país la fluctuación promedio del precio de este material predominante, el ladrillo, aumentó 0,4% para techo y en 0,32% para king kong en el mes de enero [6].

Esto impacta gravemente en el entorno en que vivimos, como muestra de ello, el promedio de polvo atmosférico sedimentable en el aire de Lima Metropolitana sobrepasa los 5 t/km<sup>2</sup>/mes lo cual es dañino para la salud, siendo originado principalmente por la industria de la construcción y la mala disposición de residuos sólidos [7].

Los residuos sólidos son manejados por las empresas operadoras de residuos sólidos autorizadas por el Ministerio del Ambiente. Dichas empresas ascienden al número de 589 registradas en todo el país, de las cuales 25 están en la provincia de Trujillo y solo 7 de estas se dedican a la recolección y transporte de RCD [8]. La poca cantidad de operadores formales a lo largo del país evidencia que, la colocación de estos residuos se da en lugares no autorizados, esto está plasmado en la sanción impuesta en primera instancia por el Organismo de Fiscalización y Evaluación Ambiental al subsector de Residuos Sólidos con 303, 74 UIT [9].

Una clara muestra de este problema es la acumulación de grandes cantidades de RCD y basura en la ciudadela de barro más grande del mundo, Chan Chan, y en los principales anillos viales de la ciudad de Trujillo [10].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

La dificultad que genera el tema de residuos sólidos se puede mitigar aprovechando el valor de reutilización de los RCD [11], [12], [13], [14], [15].

Los RCD tienen una adecuada influencia como componente en las unidades de albañilería, según estudios previos [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], por ello se elaboró esta investigación. Además, se añadió una fibra vegetal local, la totora.

## II. METODOLOGÍA

### A. Tipo de investigación

#### 1. Por el propósito:

La presente investigación según el propósito es de tipo aplicada, porque busca la utilización de los conocimientos de la investigación básica para su aplicabilidad de dichos conocimientos.

#### 2. Por la profundidad:

La presente investigación según la profundidad es de tipo explicativa, porque busca estudiar las relaciones de influencia entre las variables, para conocer su estructura y los factores que intervienen en los fenómenos y su dinámica.

#### 3. Por la naturaleza de datos:

La presente investigación según la naturaleza de datos es de tipo cuantitativa, porque se centra en el análisis de la realidad a través de diversos procedimientos basados en la medición.

#### 4. Por la manipulación de variable:

La presente investigación según la manipulación de variable es de tipo experimental, porque no posee un control total sobre todas las variables.

### B. Diseño de investigación

La investigación es de tipo experimental los sujetos o grupos de sujetos de estudio, no están asignados aleatoriamente, además, cumplen con los supuestos lógicos de repeticiones y control local.

Se cuenta con el diseño de Pos prueba única y Grupo control.

TABLA I  
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Grupo	Tratamiento	Pos prueba única
GE: Unidades de albañilería de residuos de construcción y demolición (RCD)	X: Adición de fibra vegetal de totora	O1: Propiedades físico- mecánicas
GC: Unidades de albañilería de residuos de construcción y demolición (RCD)	Sin fibra vegetal de totora	O2: Propiedades físico - mecánicas

Nota:

GE: Grupo experimental, recibe modificaciones x

GC: Grupo control, no recibe modificaciones

X: Modificación, tratamiento, estímulo, reactivo experimental

O: medición que se realiza a través de pruebas, cuestionario, observaciones, etc.

### C. Población

Las unidades de albañilería elaboradas con residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Trujillo, 2022.

### D. Muestra

La muestra son 128 unidades de albañilería, la cual está determinada por la técnica de muestreo probabilístico, del tipo aleatorio simple, ya que la población es infinita, para el cálculo se requiere el promedio de la resistencia de la propiedad que va a determinar, basándose en investigaciones previas, y su desviación estándar.

TABLA II  
NÚMERO DE MUESTRAS POR ENSAYO

Ensayo	Muestras por dosificación
Variación dimensional y alabeo	4
Resistencia a la flexión	4
Resistencia a la compresión de unidades de albañilería	4
Resistencia a la compresión de muretes de adobe	4 (usando 3 por muestra)
Resistencia de mortero a la tracción	4 (usando 2 por muestra)
Total de muestras	32 para cada dosificación

TABLA III  
NÚMERO DE MUESTRAS TOTALES

Muestras para los ensayos	Dosificación			
	Patrón: solo RCD	1% masa del ladrillo	2% masa del ladrillo	3% masa del ladrillo
Cantidad	32	32	32	32
Total	128 muestras			

### E. Unidad de análisis

Una unidad de albañilería elaborada con residuos de construcción y demolición (RCD).

### F. Materiales, equipos y métodos

#### 1. Materiales:

Residuos de construcción y demolición (RCD) de las diversas obras de edificación de la ciudad de Trujillo, específicamente restos de ladrillos de arcilla.

Fibra vegetal de totora (*Scirpus californicus*).

Ladrillo elaborado con residuos de construcción y demolición (RCD) como patrón.

#### 2. Equipos:

Comba

Tamiz N° 8 según la NTP 400.011

Tamiz N° 20 según la NTP 400.011

Tamiz N° 40 según la NTP 400.011

Tamiz N° 60 según la NTP 400.011

Tamiz N° 100 según la NTP 400.011

Fondo de tamiz o cazoleta

Máquina para los moldes de los ladrillos

### 3. Métodos o procedimiento experimental:

Selección y clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD) según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.050) [23].

Preparación de escombros, reduciendo su tamaño con una comba, para la trituration.

Trituración de escombros.

Tamizaje de las partículas obtenidas, usando las partículas que pasan el tamiz número 8 (2.36 mm) y quedan retenidas en el tamiz número 100 (0.15mm).

Diseño de la mezcla para la obtención de las unidades de albañilería.

Definición de la consistencia de la mezcla.

Determinación de dosificaciones finales.

Diseño del molde final para la elaboración de las unidades de albañilería.

Elaboración de la mezcla.

Colocación de la mezcla patrón, de la mezcla con adición de totora al 1%, al 2% y al 3% de la masa de la unidad de albañilería.

Desmolde.

Curado de los ladrillos a 28 días en el laboratorio de Ingeniería Civil de la universidad.

Realización de ensayos mencionados en la Tabla II.

### G. Procedimiento de recolección de datos

Todos los datos recolectados fueron a través de la técnica de Observación directa a ensayos de laboratorio indicados en la Tabla II, usando el instrumento fichas de recolección de datos experimentales y fichas comparativas.

Se clasificaron en tablas los datos recolectados de los resultados de los ensayos mencionados anteriormente según cada tipo de ensayo.

Se elaboraron tablas comparativas de los resultados obtenidos de cada ensayo versus los que muestra la NTP E.070 respecto a las clases de ladrillos.

Se determinó el porcentaje de similitud de los resultados de cada ensayo a los ladrillos elaborados conteniendo residuos de construcción y demolición (RCD) versus los parámetros que muestra la NTP E.070, la NTP 080, la NTP 331.017, la NTP 331.018 y la NTP 399.613 [24], [25], [26], [27], [28].

### H. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

Se analizó en tablas los resultados de las 128 muestras ensayadas.

Se cuantificó los resultados de cada ensayo.

Se comparó las respuestas de los ensayos con las hipótesis y con lo que indicaban los antecedentes.

Se identificó las tendencias de los resultados experimentales, se discutió y llegó a conclusiones en la investigación.

## III. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados en laboratorio de Suelos y Concreto de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte, para los cuales se tuvieron en cuenta los parámetros de las siguientes normas: Variación dimensional y Alabeo NTP 331.017, NTP 331.018, NTP 399.613 & E070; Resistencia a la flexión: módulo de rotura NTP 331.018 & NTP 339.613; Resistencia a la compresión NTP 331.017, NTP 331.018, NTP 399.613 & E070; Resistencia a la compresión de muretes de adobe E080; y Resistencia de mortero a la tracción E080. Se organizaron sus resultados de cada ensayo en figuras, para apreciar de manera objetiva lo que descubrieron y poder sacar conclusiones de estas.

### A. Variación dimensional

En la Figura 1 se muestra cómo cambia la Variación dimensional según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos la dimensión en mm, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color celeste representa a la unidad 1 ensayada, el color naranja representa a la unidad 2 ensayada, el color plomo representa a la unidad 3 ensayada, y el color amarillo representa a la unidad 4 ensayada). En el eje y tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (desde la parte inferior hacia arriba tenemos que cada fila representa dimensiones, la primera, largo, la segunda, ancho y la tercera, altura, así para cada tipo de muestra).

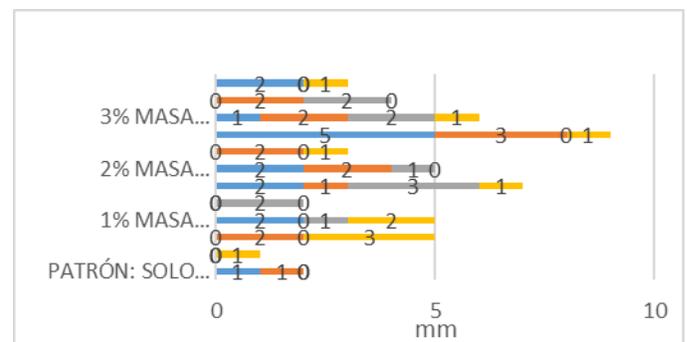


Fig. 1 Variación dimensional

Según los resultados, se puede observar que, en la muestra patrón y en la muestra 1% masa del ladrillo, la máxima variación dimensional es de 3 mm, lo cual está dentro de los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 3 Art. 3.1 Inc. 3.1.2., en la muestra 2% masa del ladrillo, la máxima variación dimensional es de 5 mm, lo cual está dentro de los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 3 Art. 3.1 Inc. 3.1.2., y en la muestra 3% masa del ladrillo, la máxima variación dimensional es de 2 mm, lo cual está dentro de los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 3 Art. 3.1 Inc. 3.1.2. Además, se analiza los parámetros de la NTP 331.017, donde indica que en la dimensión especificada entre

60 y 100 mm (alto) la variación máxima permisible es 3 mm, para dimensiones de 100 a 140 mm (ancho) la variación máxima es 5 mm, y para dimensiones de 140 a 240 mm (largo) la variación máxima es 6 mm. En las muestras ensayadas la variación dimensional máxima en largo es 2 mm cumpliendo el parámetro, en ancho es 2 mm cumpliendo el parámetro, y en altura es 5 mm no cumpliendo el parámetro para muestras de 2% la masa del ladrillo. Este segundo análisis tuviera mayor relevancia si las unidades ensayadas fueran de arcilla cocida, pero como no lo son, lo relevante es la evidencia del cumplimiento de la norma E070 para unidades de albañilería.

### B. Alabeo

En la Figura 2 se muestra cómo varía el alabeo según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos el alabeo en mm, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color celeste y naranja representan a ambas diagonales por cara ensayada de la unidad 1, el color plomo y amarillo representan a ambas diagonales por cara ensayada de la unidad 2, el color rosado y verde representan a ambas diagonales por cara ensayada de la unidad 3, y el color azul y marrón representan a ambas diagonales por cara ensayada de la unidad 4). En el eje y tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (desde la parte inferior hacia arriba tenemos que cada fila representa las diagonales, la primera, L1, y la segunda, L2, así para cada tipo de muestra).

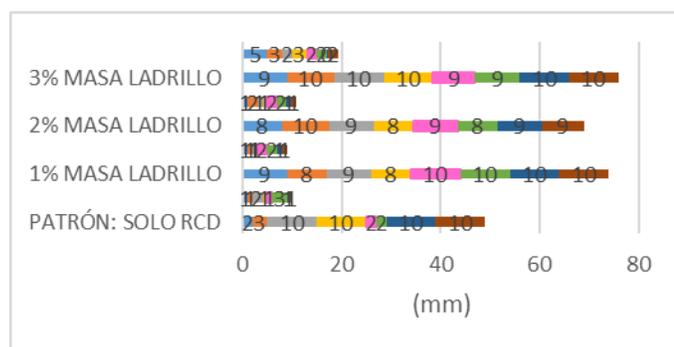


Fig. 2 Alabeo

Según los resultados, se puede observar que, en cada tipo de muestra, el máximo alabeo es de 10 mm, lo cual está dentro de los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 3 Art. 3.1 Inc. 3.1.2.

### C. Resistencia a la flexión módulo de rotura

En la Figura 3 se muestra cómo varía la resistencia a la flexión de las unidades de albañilería según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color plomo representa a la unidad 1 ensayada, el color amarillo representa a la unidad 2 ensayada, el color azul representa a la unidad 3 ensayada, y el color verde representa a la unidad 4 ensayada). En el eje y tenemos la resistencia a la flexión en  $\text{kg/cm}^2$ , datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (agrupados en barras para cada tipo de muestra).

resistencia a la flexión en  $\text{kg/cm}^2$ , datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (agrupados en barras para cada tipo de muestra).

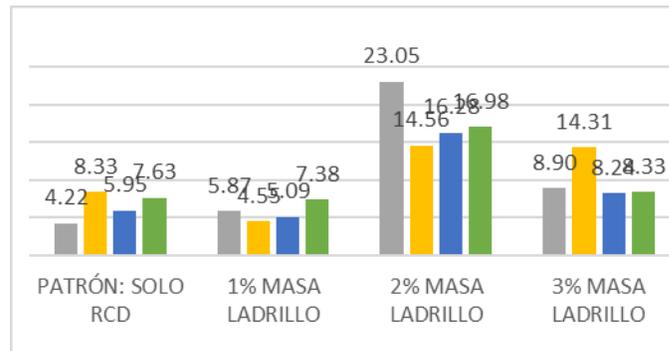


Fig. 3 Resistencia a la flexión módulo de rotura

Según los resultados, se puede observar que, en la muestra patrón, la máxima resistencia a la flexión módulo de rotura es de  $8.33 \text{ kg/cm}^2$ , y en la muestra 1% masa ladrillo, es de  $7.38 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales cumplen los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 9 Art. 9.1. Inc. 9.1.8 y se clasifican para albañilería armada rellena de concreto líquido, para esfuerzos iguales o mayores a  $3 \text{ kg/cm}^2$ . También, en la muestra 2% masa ladrillo, la máxima resistencia a la flexión módulo de rotura es de  $23.05 \text{ kg/cm}^2$ , y en la muestra 3% masa ladrillo, es de  $14.31 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales cumplen y sobrepasan los parámetros en la Tabla 1, E 070 Art. 9.1. Inc. 9.1.8 y se clasifican para albañilería armada rellena de concreto líquido. Los altos niveles en la resistencia a la flexión se deben a la adición de totora, el más alto resultado se alcanza con la adición de totora al 2% de la masa del ladrillo. Esto coincide con la investigación previa [22], donde elaboran adobes con la fibra ichu y alcanzan su mayor resistencia a la flexión y compresión el 2.5% de esta fibra. Además, estos resultados pasan los parámetros establecidos de la resistencia a la flexión módulo de rotura como los hallados en una investigación antecedente [29], donde usaron RCD para elaborar adoquines.

### D. Resistencia a la compresión

En la Figura 4 se muestra cómo varía la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color plomo representa a la unidad 1 ensayada, el color amarillo representa a la unidad 2 ensayada, el color azul representa a la unidad 3 ensayada, y el color verde representa a la unidad 4 ensayada). En el eje y tenemos la resistencia a la compresión en  $\text{kg/cm}^2$ , datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (agrupados en barras para cada tipo de muestra).

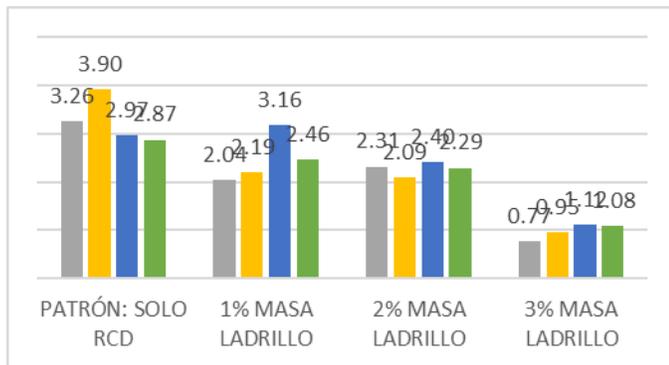


Fig. 4 Resistencia a la compresión

Según los resultados, se puede observar que, en la muestra patrón, la máxima resistencia a la compresión de las unidades de albañilería es de 3.90 kg/cm<sup>2</sup>, en la muestra 1% masa del ladrillo, es de 3.16 kg/cm<sup>2</sup>, en la muestra 2% masa del ladrillo, es de 2.40 kg/cm<sup>2</sup>, y en la muestra 3% masa del ladrillo, la máxima resistencia a la compresión de las unidades de albañilería es de 1.12 kg/cm<sup>2</sup>, las cuales no están dentro de los parámetros permitidos en la Tabla 1, E 070 Cap. 3 Art. 3.1 Inc. 3.1.2. Lo cual es una limitación, ya que, no alcanzan a clasificarse como unidades de albañilería para fines estructurales, para ello se necesita como mínimo una resistencia de 20.00 kg/cm<sup>2</sup>. Además, al compararlo con la norma NTP 331.017 ninguno alcanza los valores de resistencia a la compresión de las unidades de arcilla cocida. También, estos resultados evidencian un comportamiento distinto al añadir las fibras de paja o cáñamo como en una investigación previa [16], donde la resistencia a la compresión aumentó en un 50% versus las muestras de control. Mostrando que, el tipo de fibra vegetal usada como reforzamiento también implica en la resistencia a la compresión de las unidades.

#### E. Resistencia a la compresión de muretes de adobe

En la Figura 5 se muestra cómo varía la resistencia a la compresión de muretes de adobe según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color plomo representa a la unidad 1 ensayada, el color amarillo representa a la unidad 2 ensayada, el color azul representa a la unidad 3 ensayada, y el color verde representa a la unidad 4 ensayada). En el eje y tenemos la resistencia a la compresión de muretes de adobe en kg/cm<sup>2</sup>, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (agrupados en barras para cada tipo de muestra).

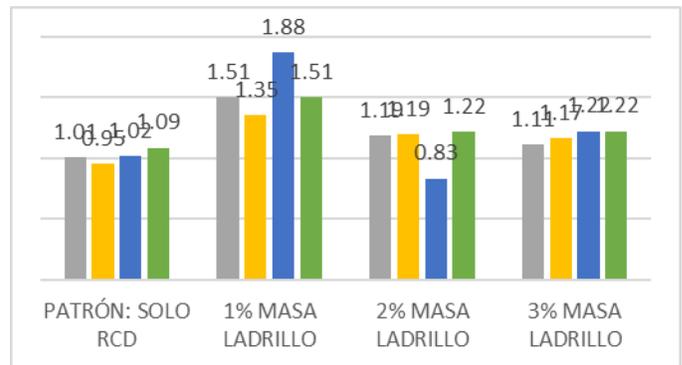


Fig. 5 Resistencia a la compresión de muretes de adobe

Según los resultados, se puede observar que, en la muestra patrón, la máxima resistencia a la compresión de muretes de adobe es de 1.09 kg/cm<sup>2</sup>, en la muestra 1% masa ladrillo, es de 1.88 kg/cm<sup>2</sup>, en la muestra 2% masa ladrillo, es de 1.19 kg/cm<sup>2</sup>, y en la muestra 3% masa ladrillo, la máxima resistencia a la compresión de muretes de adobe es de 1.22 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales no están dentro de los parámetros permitidos en la E 080 Cap. 2 Art. 8 Inc. 8.4 letra C, porque no es igual o mayor a 6.12 kg/cm<sup>2</sup>. Esto evidencia una limitación de las unidades de albañilería en resistencia a la compresión de muretes.

#### F. Resistencia de mortero a la tracción

En la Figura 6 se muestra cómo varía la resistencia del mortero a la tracción según las muestras ensayadas. En el eje x tenemos los tipos de muestras ensayadas, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (el color plomo representa a la unidad 1 ensayada, el color amarillo representa a la unidad 2 ensayada, el color azul representa a la unidad 3 ensayada, y el color verde representa a la unidad 4 ensayada). En el eje y tenemos la resistencia del mortero a la tracción en kg/cm<sup>2</sup>, datos extraídos de los resultados obtenidos en laboratorio (agrupados en barras para cada tipo de muestra).

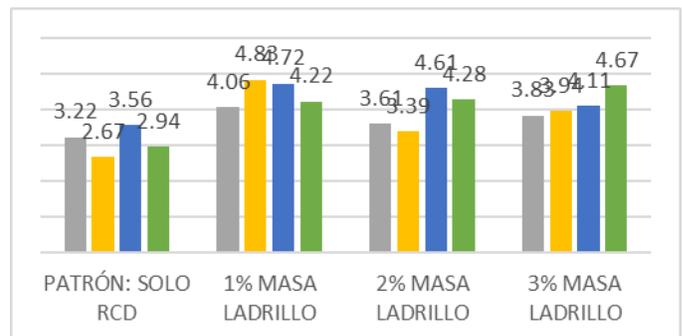


Fig. 6 Resistencia de mortero a la tracción

Según los resultados, se puede observar que, en la muestra patrón, la máxima resistencia del mortero a la tracción es de 3.56 kg/cm<sup>2</sup>, en la 1% masa ladrillo, es de 4.83 kg/cm<sup>2</sup>, en la 2% masa ladrillo, es de 4.61 kg/cm<sup>2</sup>, y en la 3% masa ladrillo,

la máxima resistencia del mortero a la tracción es de 4.67 kg/cm<sup>2</sup>, las cuales están dentro de los parámetros permitidos en la E 080 Cap. 2 Art. 8 Inc. 8.3 letra C, porque cumplen con una resistencia última mayor o igual a 0.12 kg/cm<sup>2</sup>.

#### IV. CONCLUSIONES

En la presente tesis se determinó el efecto del contenido de totora (*Scirpus californicus*) en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería obtenidas a partir de residuos de construcción y demolición.

Se evaluó los resultados de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD y totora.

Se determinó la variación dimensional y alabeo de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD y totora. Analizando las muestras ensayadas, todas cumplen los parámetros de variación dimensional y alabeo de acuerdo a la norma E070, clasificándose por estas dos características como ladrillo tipo I (Figura I y II).

Se evaluó el comportamiento respecto a la resistencia a la flexión módulo de rotura de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD y totora, evidenciándose como la propiedad en que mejor se desenvuelven, alcanzando una flexión de 23.05 kg/cm<sup>2</sup>, siendo lo establecido por norma E070 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, todo esto gracias a la adición de totora (Figura 3).

Se evaluó el comportamiento respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD y totora, mostrando que ninguna muestra ensayada alcanza la resistencia mínima 20.00 kg/cm<sup>2</sup> para clasificarse como unidad de albañilería para uso estructural (Figura 4).

Se evidenció el comportamiento respecto a la resistencia a la compresión de muretes de adobe elaboradas a base de RCD y totora, indicando que ninguna muestra ensayada es igual o mayor a la resistencia 6.12 kg/cm<sup>2</sup>, establecida en la norma E080 (Figura 5).

Se evaluó el comportamiento respecto a la resistencia de mortero a la tracción de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD y totora, que todas cumplen y sobrepasan el parámetro 0.12 kg/cm<sup>2</sup> indicado en la norma E080 (Figura 6).

La investigación evidenció que, las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD adicionados con fibras de totora cumplen en 3 de 5 los parámetros establecidos en las normativas del sector.

La investigación confirmó que, las propiedades como variación dimensional, alabeo, resistencia a la flexión módulo de rotura, resistencia a la compresión, resistencia a la compresión de muretes de adobe y resistencia de mortero a la tracción de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD adicionados con fibras de totora tienen un mejor comportamiento respecto a las unidades de albañilería elaboradas solo en base a RCD sin adición de totora.

Se determinó que, las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas a base de RCD adicionados con fibras de totora no tienen una diferencia significativa respecto a los ladrillos estructurales en compresión; sin embargo, existe una diferencia amplia en resistencia a la flexión.

La investigación promueve la construcción circular, el ahorro de insumos y genera mayor conocimiento para la elaboración de unidades de albañilería en base de RCD y fibras vegetales como la totora.

Se recomienda realizar nuevas investigaciones usando cemento para unir las unidades de albañilería, ya que en las evaluadas se usó mortero de tierra y arena, para mejorar las propiedades de resistencia a la compresión de muretes.

Se recomienda realizar nuevas investigaciones evaluando mayor cantidad de unidades de albañilería.

Se recomienda evaluar nuevas fibras vegetales locales para comparar su desempeño frente a la totora.

#### REFERENCIAS

- [1] Sánchez, J., Ospina, M., Moreno, L. & Chaves, S. (2018). Mechanical Behavior of Masonry Concrete Units Made with Rubbish Proceeded From the Demolition of Buildings Constructed with Common Bricks. *International Journal of Applied Engineering*, Volume 13, Number 23, 16447-16459.
- [2] Pacheco, C., Fuentes, L., Sánchez, E., Rondón, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 35, núm. 2, 533-555. <https://www.redalyc.org/journal/852/85252030015/html/>
- [3] Silva, G. (2019). Development of an eco-friendly composite based on geopolymer matrix produced with fired clay brick powder and reinforced with natural fibers (Tesis de maestría en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13564>
- [4] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Anuario de estadísticas ambientales: Capítulo 6: Protección, gestión y conciencia ambiental. (06). [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1469/cap06.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1469/cap06.pdf)
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Sistema de información regional para la toma de decisiones. <http://webinei.inei.gov.pe:8080/SIRTOD/inicio.html#app=8d5c&d4a2-selectedIndex=1&d9ef-selectedIndex=1>
- [6] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). Variación de los indicadores de precios de la economía. Pág. 16. [https://www.inei.gov.pe/media/principales\\_indicadores/04-informe-tecnico-variacion-de-precios-mar-2022.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/principales_indicadores/04-informe-tecnico-variacion-de-precios-mar-2022.pdf)
- [7] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). Informe técnico de Producción nacional. [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-produccion\\_abril.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-produccion_abril.pdf)
- [8] Ministerio del ambiente. (2020). Listado de empresas operadoras de residuos sólidos. <https://sites.google.com/minam.gob.pe/dgrs-eo/p%C3%A1gina-principal>
- [9] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2021). OEFA lanza aplicativo “Reporta Residuos” para alertar la acumulación de residuos sólidos en las calles. <https://www.oefa.gob.pe/oefa-lanza-aplicativo-reporta-residuos-para-alertar-la-acumulacion-de-residuos-solidos-en-las-calles/ocac06/>
- [10] Defensoría del Pueblo (2021). Se requieren acciones urgentes para preservar Chan Chan. <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-se-requieren-acciones-urgentes-para-preservar-chan-chan/>

- [11] Bernuy, E. (2019). Percepción del beneficio de residuos de construcción y demolición en las empresas constructoras de obras públicas en la provincia de Huaura – 2017 (Tesis de titulación en Ingeniería Civil). Universidad Nacional “José Faustino Sánchez Carrión”. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3047/BERNUY%20TIBURCIO,%20EDEN%20WILMER.pdf?sequence=1>
- [12] Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- [13] Sevilla Chinchilla, I. (2019). Gestión de residuos sólidos de la actividad de demolición; estudio de casos en profesionales y especialistas en la zona financiera del distrito de San Isidro en el 2018 (Tesis para optar la maestría en Arquitectura y Sostenibilidad). Universidad Ricardo Palma. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/2754>
- [14] Silva, G. (2019). Development of an eco-friendly composite based on geopolymer matrix produced with fired clay brick powder and reinforced with natural fibers (Tesis de maestría en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13564>
- [15] Vargas, E. (2020). El reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible caso distrito Jesús María – Lima (Tesis para optar el doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4154>
- [16] Calatan G., Hegyi A., Dico, C. y Mircea C. (2017). Experimental Research on the Recyclability of the Clay Material used in the Fabrication of Adobe Bricks Type Masonry Units. *Procedia Engineering*, 181, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.402>
- [17] Bocanegra, J., & Espejo, Y. (2018). Influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería (Tesis de titulación como Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10482>
- [18] Silva, G. (2018). Development of an eco-friendly composite based on geopolymer matrix produced with fired clay brick powder and reinforced with natural fibers (Tesis de maestría en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13564>
- [19] Vilcas, C. (2019). Comparación de los resultados de ensayos físico-mecánicos realizados a bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición en Sudamérica (Tesis para optar el grado académico de Bachiller en Ingeniería Civil). Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6098>
- [20] Limay, E., Vásquez H. (2019). Resistencia a compresión del ladrillo de arcilla con adición de ichu (Stipa ichu) (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21089#:~:text=Obteniendo%20los%20resultados%20en%20la,de%20Ichu%2035.89%20kg%20Fcm%20C2%B2>
- [21] Glaydson et al. (2020). Fabrication, microstructure, and properties of fired clay bricks using construction and demolition waste sludge as the main additive. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120733. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620307800?via%3Dihub>
- [22] Vásquez, L. (2021). Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con fibra de pino; Cajamarca 2019” (Tesis para optar el título en Ingeniería Civil). Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28243#:~:text=Los%20resultados%20muestran%20que%20los,de%20fibra%20de%20pino%20respectivamente>
- [23] Norma 400.050 Diario oficial El Peruano, miércoles 24 de mayo de 2017.
- [24] Norma E.070. Diario oficial El Peruano, martes 23 de mayo de 2006. Última actualización 2019.
- [25] Norma E.080. Diario oficial El Peruano, martes 07 de abril de 2017.
- [26] Norma 331.017. Diario oficial El Peruano, viernes 11 de diciembre de 2015. 2° edición.
- [27] ITINTEC. (1978). NTP 331.018. [https://www.academia.edu/5589915/ITINTEC\\_331\\_018](https://www.academia.edu/5589915/ITINTEC_331_018)
- [28] Norma 399.613. Diario oficial El Peruano, miércoles 03 de enero de 2018. Última actualización 2017.
- [29] Ceballos, S., González, D., Sánchez, J. (2020). Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. *Ion*. <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021003>