

PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPRESSED EARTH BLOCKS STABILIZED WITH DIFFERENT PERCENTAGES OF RICE HUSKS AND SAWDUST

Javier Aquino Rafael, Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.²;Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.³

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. jaquinor_epg19@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Abstract– In Peru, adobe is the second most used material in the construction of houses, however, it is one of the least resistant construction materials, which is why additions or compaction techniques are used to improve its properties. The research consists of determining the physical-mechanical properties of the compressed earth blocks by adding different percentages of rice husks and sawdust. The research was carried out by comparing the properties of the unstabilized standard block with a block with the addition of 1%, 3% and 5% of rice husks or sawdust. To carry out the tests, prismatic blocks of 300x150x80 mm were made, which were then tested at the age of 28 days. The addition of 5% of rice husks presents an increase of: 72,19 % of capillary absorption, 58,72 % of total immersion absorption, 72,05 % of erosion, 91,13 % of compressive strength and 7,49 % of flexural strength; on the other hand, with 5% sawdust it presents an increase of 41,75 % in absorption by capillarity, 29,11 % in absorption by total immersion, 22,50 % in erosion, 64,64 % in compressive strength and 6,85 % in flexural strength. Finally, it was concluded that blocks stabilized with rice husks are the most recommended for housing construction because they have a higher compressive strength, exceeding the minimum resistance of adobe established in the E.080 Standard.

Keywords: stabiliser, absorption, erosion, peeling, resistance.

Propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizadas con diferentes porcentajes de cascara de arroz y aserrín

Javier Aquino Rafael, Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.²; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.³

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. jaquinor_epg19@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Resumen– En el Perú el adobe es el segundo material más empleado en la construcción de viviendas, sin embargo, es uno de los materiales de construcción menos resistentes, por ello se recurre a adiciones o técnicas de compactación para mejorar sus propiedades. La investigación consiste en determinar las propiedades físico-mecánicas de los bloques de tierra comprimida adicionando diferentes porcentajes de cascara de arroz y aserrín. La investigación se realizó comparando las propiedades del bloque patrón sin estabilizar con un bloque con adición de 1%, 3% y 5% de cascara de arroz o aserrín. Para realizar los ensayos se elaboraron bloques prismáticos de 300x150x80 mm, los que luego fueron ensayados a la edad de 28 días. La adición del 5% de cascara de arroz presenta un incremento de: 72,19 % de la absorción por capilaridad, 58,72 % de la absorción por inmersión total, 72,05 % de la erosión, 91,13 % de la resistencia a compresión y 7,49 % de la resistencia a flexión; en cambio con 5% de aserrín presenta un incremento de 41,75 % de la absorción por capilaridad, 29,11 % de la absorción por inmersión total, 22,50 % de la erosión, 64,64 % de la resistencia a compresión y 6,85 % de la resistencia a flexión. Se concluyó que los bloques estabilizados con cascara de arroz son los más recomendados para la construcción de viviendas debido a que tienen una mayor resistencia a la compresión, superando la resistencia mínima del adobe establecidos en la Norma E.080.

Palabras clave: estabilizante, absorción, erosión, cascara, resistencia.

Esta investigación tiene el propósito de estudiar los desafíos relacionados con las propiedades de los bloques de tierra comprimida utilizados principalmente en la construcción de viviendas, para ello determinó como la estabilización con cascara de arroz y aserrín afecta las características físico-mecánicas de los bloques, además fijó el porcentaje adecuado de estabilizante para mejorar dichas propiedades. [1]

La utilización de la tierra ha aumentado, debido a la conciencia ecológica, el costo de producción es bajo, también es un material reciclable y adaptable a las condiciones climáticas del lugar donde se usa. Al incorporarle algún agregado, el material es moldeado para así poder obtener mejores propiedades de los bloques. La tecnificación de esta modalidad es el inicio del renacimiento de la ingeniería y arquitectura con tierra. [2]

A nivel nacional las viviendas con material predominante en las paredes exteriores de ladrillo o bloques de cemento es de 55,80%, las viviendas que tienen como material predominante al adobe o tapial es de 27,90%. Por otro lado, en el departamento de Cajamarca hay 264 310 viviendas de adobe o tapial de un total de 376 223 viviendas. [3]

Además, se puede decir que aún existe una gran parte de la población de Cajamarca tienen sus viviendas construidas de material de tierra con mayor incidencia en las zonas rurales según la información anterior, para lo cual debe difundir como se puede mejor este tipo de construcciones de tierra utilizando bloque de tierra compactada (BTC), ya que tienen mejor resistencia que los materiales tradicionales (adobe o tapial). [1]

Y, como en la región Cajamarca hay presencia de fuertes precipitaciones, es necesario que los bloques de tierra mejoren sus propiedades físico-mecánicas con material estabilizante, que podría ser de origen natural (cascara de arroz, aserrín, etc.) o químico (yeso, cal, cemento, etc.) los cuales pueden mejorar algunas de sus propiedades [1]. Debido a que el ichu es originario de las zonas altoandinas no es muy accesible de conseguir, por este motivo se utiliza otros tipos de estabilizantes como son la cascara de arroz y el aserrín las cuales son fáciles de obtener en la ciudad.

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo se basa en la tesis “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín”, la que se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Esta investigación se centra en el empleo de bloques de tierra comprimida con adición de cascara de arroz y aserrín. Aunque en algunas investigaciones previas realizadas en otros lugares sugieren que la adición de cascara de arroz y aserrín podría mejorar las propiedades físico-mecánicas, en Cajamarca los bloques de tierra comprimida con estas adiciones no son muy usadas en la construcción de viviendas, a pesar de la existencia de estos materiales y se suele recurrir a técnicas antiguas como lo es la adición de ichu.

Debido a que la mayoría de las viviendas en la zona rural del país son de adobe, que son zonas de muy bajos recursos, esta investigación pretende mejorar las propiedades del adobe y por ende la seguridad estructural de las viviendas.

Con el fin de entender el desarrollo de la investigación, se definen términos esenciales para la elaboración de los BTC y materiales utilizados:

- Bloques de tierra comprimida (BTC): bloques con forma de paralelepípedo rectangular, conseguido por compresión estática o dinámica de tierra húmeda. [4]
- Estabilizante: es un componente que se agrega para mejorar algunas de sus propiedades mecánicas. [5]
- Tierra: Es un material de construcción constituido de cuadro elementos básicos que son: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa. [6]
- Maquina CINVA – RAM: es una caja metálica de acero, con un pistón que se opera manualmente por medio de un brazo de compresión que cuando se hace palanca eleva la plataforma inferior comprimiendo el bloque contra la tapa. [7]

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio tiene un diseño experimental. Se añadió el 1%, 3% y 5% de cáscara de arroz y el 1%, 3% y 5% de aserrín para determinar sus efectos en las propiedades físico-mecánicas de los bloques de tierra compactado (BTC). El método de la investigación es hipotético-deductivo, este método científico tiene los siguientes pasos:

- Observación del fenómeno a estudiar
- Formulación de una hipótesis
- Deducción de consecuencias
- Contraste de enunciado deducido para aceptar o rechazar hipótesis

A. Materiales

- Tierra (extraída de la cantera ubicada en la Cruz Blanca)
- Cascara de arroz
- Aserrín
- Agua

B. Muestra

Se tuvo una muestra de 210 bloques de tierra comprimida de 300x150x80 mm, dicha cantidad se determinó teniendo en cuenta la recomendación de la Norma E.080, la cual se distribuyó como se muestra a continuación.

TABLA I
CANTIDAD DE LOS BTC

Tratamiento	Absorción por capilaridad	Absorción por inmersión total	Erosión	Resistencia a compresión	Resistencia a Flexión
BTC Patrón	0%	6	6	6	6
BTC + Cascara de Arroz	1%	6	6	6	6
	3%	6	6	6	6
	5%	6	6	6	6
BTC + Aserrín	1%	6	6	6	6
	3%	6	6	6	6
	5%	6	6	6	6
Parcial	42	42	42	42	42
Total	210				

Fuente: “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín”, la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

C. Técnicas e instrumento de recolección de información

Para el ensayo de los bloques de tierra comprimida se utilizaron las siguientes normas:

- Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM D422)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318)
- Limite Plástico (ASTM D4318)
- Proctor estándar (AASHTO T-99)
- Absorción por capilaridad (UNE 41410 y NTC 5324)
- Absorción por inmersión total (ASTM C67 y NTP 399.613)
- Erosión (UNE 41410)
- Resistencia a compresión (ASTM C109, UNE 41410 y NTP 399.604)
- Resistencia a flexión (ASTM C348 y NTP 339.079)

D. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

El procesamiento de información que se recopiló de las variables de estudio de los BTC estabilizadas con cáscara de arroz o aserrín en diferentes porcentajes para determinar cómo influyen en las propiedades físicas-mecánicas, se realizó en fichas de recolección de información.

El análisis de los datos se hizo utilizando el método estadístico ANOVA. Para lo cual se utilizaron programas computacionales (software) como Microsoft Excel y Minitab.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Absorción por capilaridad

Se analizó la absorción por capilaridad de los BTC con adición de cascara de arroz y aserrín. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

TABLA II
ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DE LOS BTC

N°	Patrón	Cascara de Arroz				Aserrín		
		0%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
1	8,36	10,61	12,80	14,05	8,92	9,29	10,71	
2	7,85	10,33	13,35	13,61	8,57	9,01	11,30	
3	7,33	10,93	12,20	12,86	8,60	9,79	10,57	
4	7,70	10,52	12,71	13,76	8,89	9,91	11,05	
5	7,63	11,02	12,51	12,91	9,33	10,02	10,73	
6	7,50	11,33	13,20	12,66	9,35	9,95	11,38	
Prom.	7,73	10,79	12,79	13,31	8,95	9,66	10,96	

Nota: las unidades de la absorción por capilaridad están en $\text{g}/\text{cm}^2 \text{min}^{0.5}$
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Los resultados de la absorción por capilaridad muestran un aumento considerable de la absorción de BTC estabilizados con diferentes porcentajes, evaluadas a la edad de 28 días.

Además, los BTC patrón tienen una absorción promedio de $7,73 \text{ g}/\text{cm}^2 \text{min}^{0.5}$, los BTC con 5% de cascara de arroz presenta un aumento en la absorción de $13,31 \text{ g}/\text{cm}^2 \text{min}^{0.5}$, los BTC con 5% de aserrín presenta un aumento en la absorción de $10,96 \text{ g}/\text{cm}^2 \text{min}^{0.5}$. Por lo tanto, cuando los BTC se estabilizan con cascara de arroz presenta un mayor aumento en la absorción.

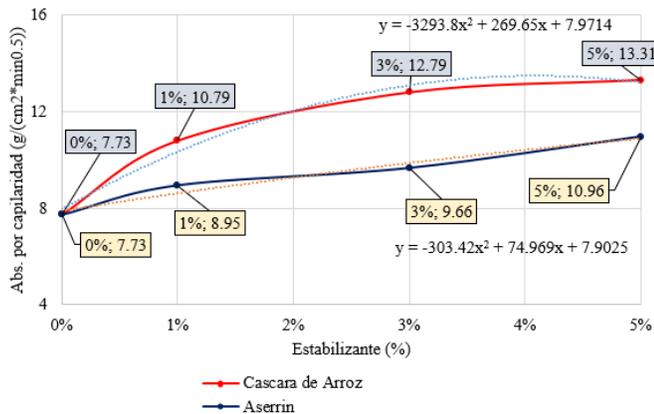


Fig. 1 Gráfica de estabilizante vs. Absorción por capilaridad.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Finalmente se realizó un analiza de ANOVA de los resultados obtenido del ensayo

TABLA III
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON CASCARA DE ARROZ

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Cascara de Arroz	3	115,173	38,3911	198,67	0,000
Error	20	3,865	0,1932		
Total	23	119,038			

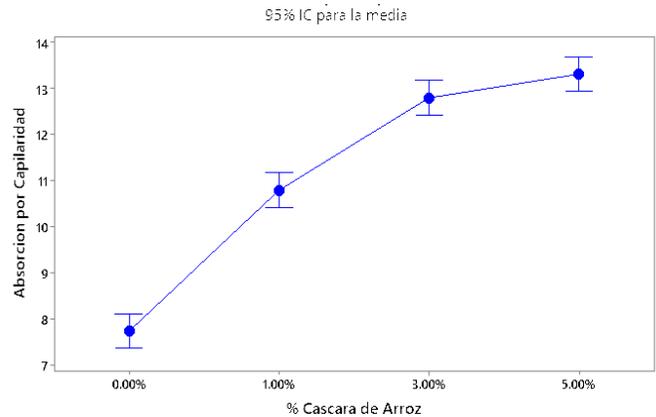


Fig. 2 Gráfica de intervalos de absorción por capilaridad vs. % cascara de arroz.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

TABLA IV
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON ASERRÍN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Aserrín	3	32,797	10,9325	83,11	0,000
Error	20	2,631	0,1315		
Total	23	35,428			

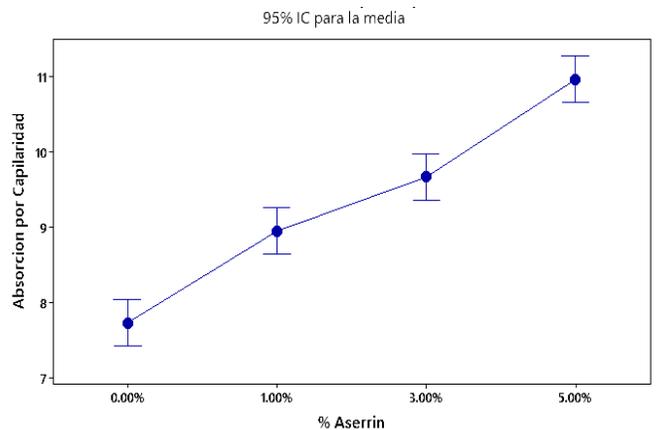


Fig. 3 Gráfica de intervalos de absorción por capilaridad vs. % aserrín
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Las medias y los intervalos de confianza respaldan la idea de que los porcentajes de estabilizantes (1%, 3%, 5%) tienen medias más altas de los bloques patrón, lo cual es coherente que con la adición de cáscara de arroz y aserrín tiene mayor absorción por capilaridad.

B. Absorción por inmersión total

La absorción por inmersión total se determinó para cada porcentaje de estabilizantes de los BTC como se muestra en tabla.

TABLA V
ABSORCIÓN POR INMERSIÓN TOTAL DE LOS BTC

N°	Patrón	Cáscara de Arroz			Aserrín		
	0%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
1	29,18	33,70	39,75	45,81	31,47	32,96	36,11
2	28,54	34,32	38,98	46,36	30,37	33,33	36,46
3	29,37	34,80	38,65	45,30	32,30	33,50	38,49
4	27,99	35,90	39,82	46,69	30,79	32,90	37,89
5	28,64	34,30	39,25	45,36	31,61	31,67	37,93
6	29,32	35,26	37,83	45,14	31,70	33,48	36,55
Prom.	28,84	34,71	39,05	45,78	31,37	32,97	37,24

Nota: las unidades de la absorción por inmersión total (%).

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Existe un incremento en la absorción por inmersión total directamente proporcional al aumento del porcentaje de estabilizante, pero se obtiene un mayor resultado es con el 5% de cáscara de arroz la cual viene hacer de 45.78%.

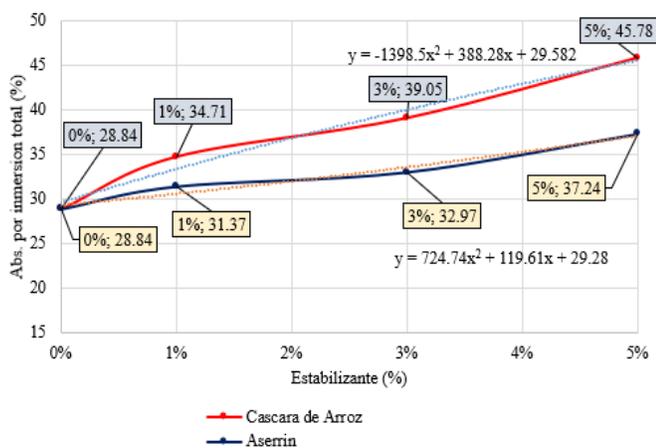


Fig. 4 Gráfica de estabilizante vs. Absorción por inmersión total

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Finalmente se realizó un análisis de ANOVA de los resultados obtenido del ensayo.

TABLA VI
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON CÁSCARA DE ARROZ

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Cáscara de Arroz	3	917,928	305,976	655,81	0,000
Error	20	9,331	0,467		
Total	23	927,259			

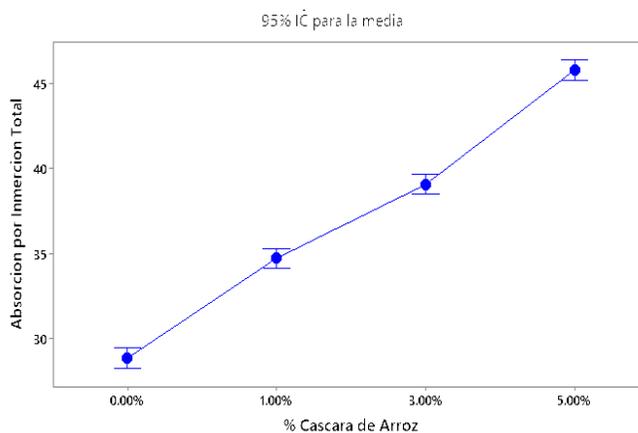


Fig. 5 Gráfica de intervalos de absorción por inmersión total vs. % cáscara de arroz.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

TABLA VII
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON ASERRÍN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Aserrín	3	223,67	74,5573	134,95	0,000
Error	20	11,05	0,5525		
Total	23	234,72			

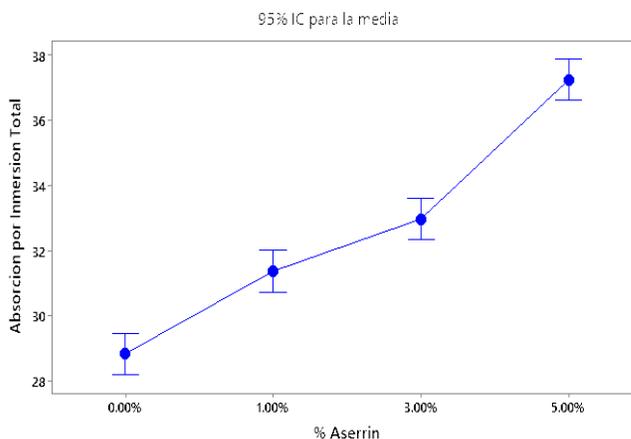


Fig. 6 Gráfica de intervalos de absorción por inmersión total vs. % aserrín.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Las medias y los intervalos de confianza respaldan la idea de que los porcentajes de estabilizantes (1%, 3%, 5%) tienen medias más altas de los bloques patrón, lo cual es coherente con que la adición de cáscara de arroz y aserrín tiene mayor absorción por inmersión total.

C. Erosión

Los resultados obtenidos en los ensayos se detallan a continuación.

TABLA VIII
EROSIÓN DE LOS BTC

N°	Patrón	Cáscara de Arroz			Aserrín		
	0%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
1	5,49	4,92	8,38	9,58	4,53	5,06	7,12
2	4,61	4,06	7,86	8,85	4,64	6,43	7,31
3	5,38	5,67	8,42	8,76	5,13	5,97	6,13
4	5,52	3,99	7,66	8,99	4,79	6,25	6,99
5	5,12	4,15	7,57	9,38	4,51	4,98	5,87
6	6,01	5,73	7,33	9,72	3,85	5,27	5,94
Promedio	5,36	4,75	7,87	9,21	4,58	5,66	6,56

Nota: las unidades de la erosión (mm).

Fuente: “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín”, la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Por otro lado, los BTC estabilizados con 3% y 5% de cáscara de arroz presentan mayor erosión, lo cual es perjudicial para los BTC, debido a que se pueden deteriorar con mayor facilidad en cambio con el 1% de estabilizante ya sea de cáscara de arroz o aserrín se obtienen menor erosión.

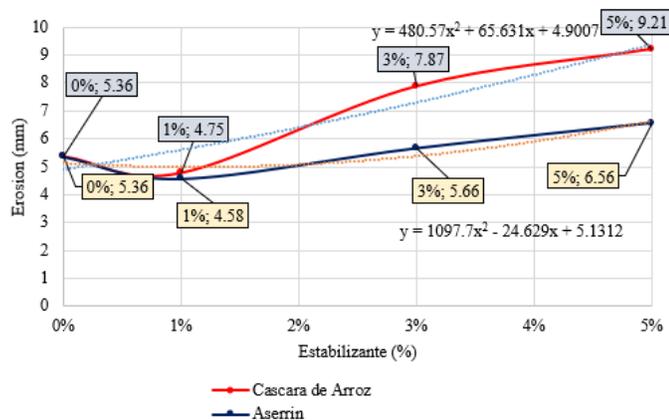


Fig. 7 Gráfica de estabilizante vs. Erosión

Fuente: “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín”, la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Finalmente se realizó un análisis de ANOVA de los resultados obtenidos del ensayo.

TABLA IX
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON CÁSCARA DE ARROZ

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% cáscara de Arroz	3	79,476	26,4919	86,44	0,000
Error	20	6,129	0,3065		
Total	23	85,605			

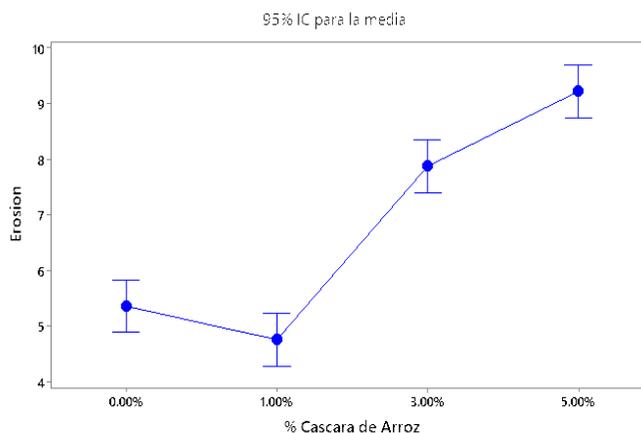


Fig. 8 Gráfica de intervalos de erosión vs. % cáscara de arroz.

Fuente: “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín”, la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

TABLA X
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON ASERRÍN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC just.	Valor F	Valor p
% Aserrín	3	12,121	4,0404	13,26	0,000
Error	20	6,094	0,3047		
Total	23	18,215			

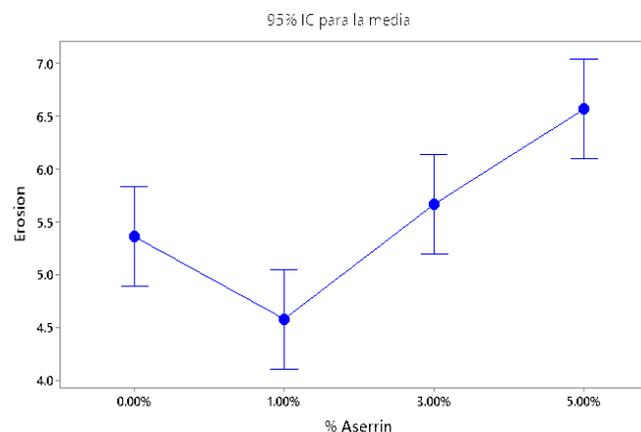


Fig. 9 Gráfica de intervalos de erosión vs. % aserrín.

Fuente: “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín”, la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Las medias y los intervalos de confianza respaldan la idea de que los porcentajes de estabilizantes (1%, 3%, 5%) tienen medias más altas de los bloques patrón, lo cual es coherente con que la adición de cáscara de arroz y aserrín tienen mayor erosión.

D. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se determinó para cada porcentaje de estabilizante (1%, 3%, 5%) de los BTC como se muestra a continuación.

TABLA XI
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BTC

Nº	Patrón	Cáscara de Arroz			Aserrín		
		0%	1%	3%	5%	1%	3%
1	15,86	22,44	25,25	32,11	21,29	21,43	26,12
2	15,44	21,08	24,97	30,81	22,00	22,13	25,79
3	16,42	22,38	24,36	28,57	21,14	22,68	26,03
4	15,05	21,16	24,53	29,59	21,08	21,62	25,36
5	15,81	23,03	24,66	29,38	21,46	21,54	26,72
6	16,18	21,55	23,50	30,65	20,74	22,10	25,97
Prom.	15,79	21,94	24,55	30,18	21,29	21,92	26,00

Nota: las unidades de la resistencia a compresión (kgf/cm²).

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Los resultados indican que la resistencia a compresión tiende a incrementar con el 5% de estabilizante, sin embargo, con la cáscara de arroz es la que se obtiene una resistencia de 30.18 kgf/cm² la cual supera la resistencia del adobe según RNE.

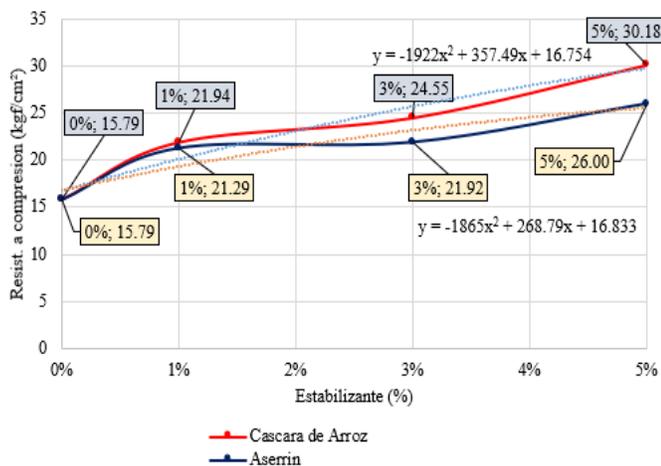


Fig. 10 Gráfica de estabilizante vs. Resistencia a compresión

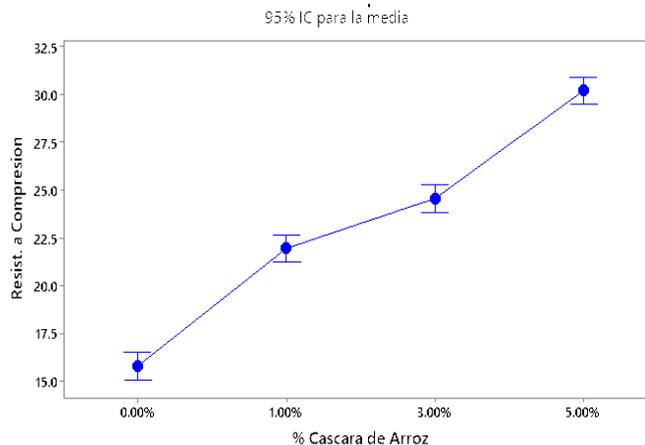
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Finalmente se realizó un análisis de ANOVA de los resultados obtenido del ensayo.

TABLA XII

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON CÁSCARA DE ARROZ

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% cáscara de Arroz	3	642,15	214,049	303,53	0,000
Error	20	14,10	0,705		
Total	23	656,25			



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

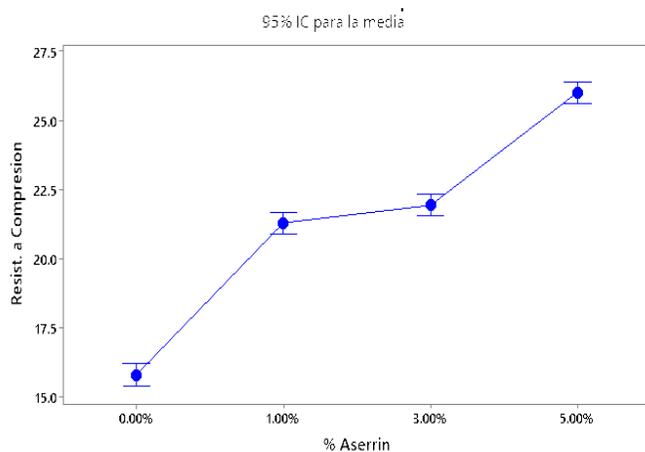
Fig. 11 Gráfica de intervalos de resistencia a compresión vs. % cáscara de arroz.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

TABLA XIII

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON ASERRÍN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Aserrín	3	316,787	105,596	496,69	0,000
Error	20	4,252	0,213		
Total	23	321,039			



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Fig. 12 Gráfica de intervalos de resistencia a compresión vs. % aserrín.

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Las medias y los intervalos de confianza respaldan la idea de que los porcentajes de estabilizantes (1%, 3%, 5%) tienen medias más altas de los bloques patrón, lo cual es coherente que con la adición de cáscara de arroz y aserrín tienen mayor resistencia a compresión.

E. Resistencia a flexión

Los resultados de la resistencia a flexión que se ensayaron se detallan a continuación.

TABLA XIV
RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LOS BTC

N°	Cáscara de Arroz				Aserrín		
	Patrón	0%	1%	3%	5%	1%	3%
1	6,34	6,84	6,49	6,42	6,43	6,68	6,81
2	6,44	6,32	6,89	6,60	6,49	6,28	6,44
3	6,22	6,65	6,60	6,86	6,52	6,61	6,65
4	6,34	6,31	6,31	6,94	6,67	6,76	7,01
5	6,30	6,51	6,90	6,85	6,09	6,28	6,73
6	6,17	6,73	6,56	6,98	6,36	6,53	6,77
Promedio	6,30	6,56	6,63	6,78	6,43	6,52	6,74

Nota: las unidades de la resistencia a flexión (kgf/cm²).

Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

La resistencia a flexión no presenta un incremento significativo con respecto a los BTC patrón por consiguiente se puede afirmar que la cáscara de arroz y aserrín no mejora a la resistencia.

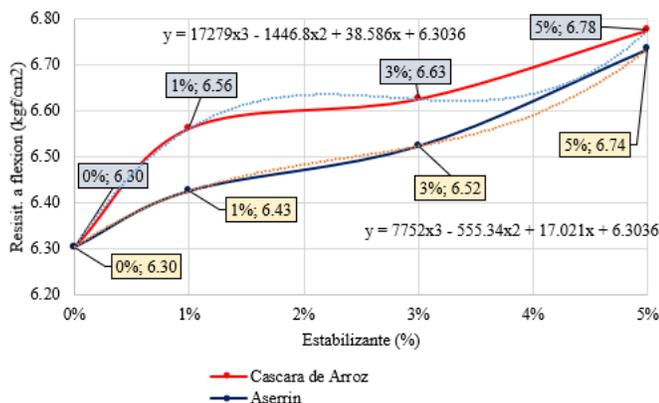


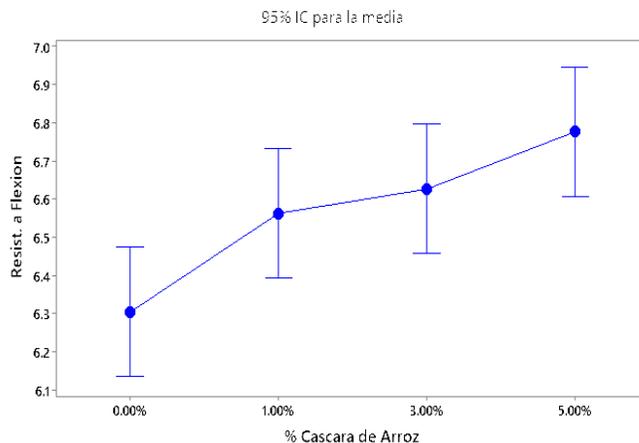
Fig. 13 Gráfica de estabilizante vs. Resistencia a flexión
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Finalmente se realizó un análisis de ANOVA de los resultados obtenido del ensayo.

TABLA XV

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON CÁSCARA DE ARROZ

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% cáscara de Arroz	3	0,6984	0,23280	5,88	0,005
Error	20	0,7913	0,03957		
Total	23	1,4898			



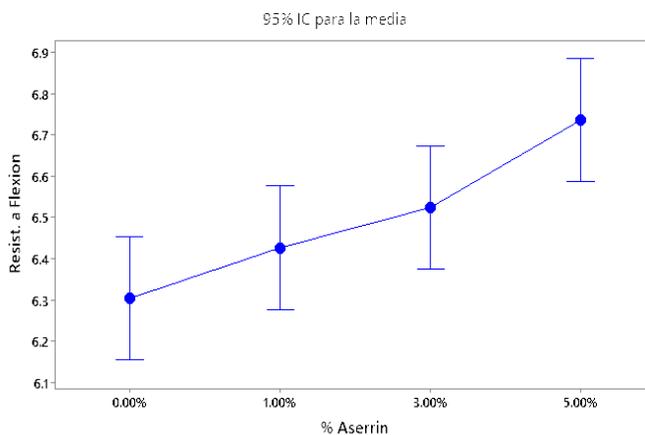
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Fig. 14 Gráfica de intervalos de resistencia a flexión vs. % cáscara de arroz
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

TABLA XVI

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON ASERRÍN

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Aserrín	3	0,5996	0,19986	6,46	0,003
Error	20	0,6185	0,03093		
Total	23	1,2181			



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Fig. 15 Gráfica de intervalos de resistencia a flexión vs. % aserrín.
Fuente: "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cáscara de arroz y aserrín", la cual se encuentra en el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

Las medias y los intervalos de confianza respaldan la idea de que los porcentajes de estabilizantes (1%, 3%, 5%) tienen medias más altas de los bloques patrón, lo cual es coherente que con la adición de cáscara de arroz y aserrín tienen mayor resistencia a flexión.

V. CONCLUSIONES

Del análisis de las diferentes propiedades físico-mecánicas de los bloques de tierra comprimida estabilizadas con cáscara de arroz y aserrín se concluye que:

- La absorción por capilaridad de los BTC estabilizados con el 5% de cáscara de arroz tiene un mayor resultado, por lo que, este porcentaje tiene una mayor retención de agua, respecto a los demás porcentajes de estabilizantes.
- Los BTC estabilizados con el 5% cáscara de arroz tienen una mayor absorción por inmersión total, lo que resulta perjudicial para los bloques debido a que se destruyen con facilidad al contener mayor cantidad de agua.
- La mayor erosión de los BTC se da en los que están estabilizados con 5% de cáscara de arroz, por lo tanto, se puede afirmar que dichos bloques tienen a descomponerse con facilidad con la caída del agua sobre los bloques.
- La resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida estabilizadas con el 5% de cáscara de arroz tienen mayor resistencia, siendo mejores que los adobes tradicionales.
- Los BTC estabilizados con cáscara de arroz y aserrín no presentan un incremento significativo en la resistencia a flexión con respecto a los bloques patrón.

REFERENCIAS

- [1] J. Aquino Rafaël, "Comparación de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cascara de arroz y aserrín" tesis grado de Maestría, Univ. Pub. UNC, 2024.
- [2] Arteaga, K., Medina, Ó., & Gutiérrez, J., "Bloque de tierra comprimida como material constructivo" Revista Facultad de Ingeniería, 2011.
- [3] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Perú: Perfil sociodemográfico, 2017", 2018.
- [4] UNE 41410, "Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques: Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo", 2008
- [5] Cid, J., Mazarrón, F., & Cañas, I., "Las normativas de construcción con tierra en el mundo", 2011
- [6] RNE, "Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada", 2020.
- [7] PDT, "Manual de bloques de tierra comprimida", 2006.