

Passiflora edulis f. flavicarpa (passion fruit peel) ash as a partial substitute for cement in the production of artisanal concrete blocks
Ceniza de passiflora edulis f. flavicarpa (cáscara de maracuyá) como sustituto parcial del cemento en la elaboración de bloques artesanales de hormigón

Autores:

Alcivar-Montesdeoca, Arely Lisbette
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Estudiante de Ingeniería Civil
Portoviejo – Ecuador



aalcivar4571@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0002-3870-2676>

Argüello-Castro, Jean Luis
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Estudiante de Ingeniería Civil
Portoviejo – Ecuador



jarguello6597@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0009-8212-6339>

Ruiz-Párraga, Wilter Enrique
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Ing. Civil, Máster en Ingeniería Civil, Máster en Docencia e Investigación Educativa
Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Profesor Titular del área de Ingeniería Civil
Portoviejo – Ecuador



wilter.ruiz@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-0045-9781>

Fechas de recepción: 08-JUN-2025 aceptación: 08-JUL-2025 publicación: 30-SEP-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

Este estudio evalúa la viabilidad de utilizar ceniza de *passiflora edulis* f. *flavicarpa* (cáscara de maracuyá) como sustituto parcial del cemento en la elaboración de bloques artesanales de hormigón. Frente al impacto ambiental generado por la industria de la construcción, se propone el aprovechamiento de residuos agroindustriales como una alternativa sostenible. Para este caso, se prepararon bloques con tres proporciones de sustitución (5%, 10% y 15%) y se sometieron a ensayos físicos y mecánicos conforme la norma NTE INEN 3066, es decir, análisis de dimensiones, ensayos de absorción y ensayos de resistencia a la compresión. Para los ensayos de resistencia a la compresión, los resultados revelaron una disminución progresiva a medida que incrementaba el porcentaje de reemplazo de la ceniza, registrando valores promedio de 2,15 MPa para el 5%, 1,80 MPa para el 10% y 1,49 MPa para el 15%. De acuerdo a la clasificación establecida por la norma, los bloques con reemplazo del 5% y 10% cumplieron con los requisitos mínimos para bloques tipo C, concluyéndose que la ceniza de cáscara de maracuyá puede emplearse como adición en bloques de hormigón en proporciones iguales o menores al 10%.

Palabras clave: Bloques de hormigón; residuos; cáscara de maracuyá; resistencia a la compresión.

Abstract

This study evaluates the feasibility of using ash from *passiflora edulis* f. *flavicarpa* (passion fruit peel) as a partial replacement for cement in the production of handmade concrete blocks. In light of the environmental impact generated by the construction industry, the use of agro-industrial waste is proposed as a sustainable alternative. In this case, blocks were prepared with three substitution ratios (5%, 10%, and 15%) and subjected to physical and mechanical tests in accordance with the NTE INEN 3066 standard, including dimensional analysis, absorption tests, and compressive strength tests. For the compressive strength tests, the results revealed a progressive decrease as the percentage of ash replacement increased, recording average values of 2.15 MPa for 5%, 1.80 MPa for 10%, and 1.49 MPa for 15%. According to the classification established by the standard, the blocks with 5% and 10% replacement met the minimum requirements for type C blocks, leading to the conclusion that passion fruit peel ash can be used as an additive in concrete blocks at proportions equal to or less than 10%.

Keywords: Concrete blocks; waste; passion fruit peel; compressive strength.

Introducción

Según el (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2024), la producción de cemento representa cerca del 3% de las emisiones globales de CO₂, que convierte a este material en uno de los principales responsables del impacto ambiental asociado al sector de la construcción. Frente a este panorama, ha cobrado relevancia la búsqueda de alternativas más sostenibles. Una de las estrategias más prometedoras consiste en aprovechar residuos agroindustriales como sustitutos parciales en la elaboración de materiales constructivos, que no solo disminuye el uso del cemento, sino que también permite reutilizar subproductos orgánicos que, de otro modo, serían desechados.

Investigaciones previas han demostrado que, tras un proceso de calcinación controlada, ciertos residuos orgánicos pueden transformarse en ceniza con propiedades puzolánicas, que los hace potencialmente aptos para su uso en la elaboración de bloques artesanales al evidenciar que su incorporación en sustitución parcial del cemento puede mantener e incluso mejorar sus propiedades físicas-mecánicas.

Según (Cotrina & Reyes de la Cruz, 2022), después de procesar la cáscara de arroz y convertirla en ceniza a temperaturas cercanas a los 750 °C, mostró un comportamiento favorable como material cementante suplementario en proporciones del 8%, 10%, 12% y 15% en la elaboración de bloques. A estos niveles de reemplazo, se obtuvo una resistencia a compresión superior a los bloques comerciales, cuyo valor mínimo es de 50 kg/cm² para la clase de bloque I de acuerdo a la Norma Técnica peruana E.070 (2019), registrando incrementos del 50.56%, 83.62%, 58.49% y 62.72%, respectivamente. La única dosificación que registró una disminución del 41.99% fue la correspondiente al 5% de sustitución. A pesar de ello, el promedio general de resistencia alcanzado por los bloques artesanales fue de 71.34 kg/cm², lo que representa una mejora ponderada del 42.68% respecto al bloque comercial.

Según la investigación realizada por (Gamonal, 2023), se identificó que una sustitución del 15% del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar produjo los mejores resultados mecánicos al alcanzar una resistencia a compresión de 69.76 kg/cm² a los 28 días de curado, en comparación a otras dosificaciones evaluadas (5%, 10% y 20%) que también superaron la resistencia a la compresión de los bloques de hormigón convencionales al alcanzar valores de 60.20 kg/cm², 65.28 kg/cm² y 67.86 kg/cm², respectivamente. Este desempeño resalta el

potencial de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento e impulsa la investigación hacia otras fuentes con objetivos y características similares.

Para el presente estudio se seleccionó la cáscara de maracuyá como objeto de análisis por ser uno de los más importantes productos agropecuarios de la industria alimentaria en Ecuador, principalmente en la región Costa. De acuerdo con los datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023), emitida por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a nivel nacional se cuenta con una superficie de cultivo de 10.957 hectáreas con una producción total de 76.030 toneladas anuales, de los cuales se destaca la provincia de Esmeraldas como la mayor productora (5.052 ha y 33.369 t), seguida por Santo Domingo de los Tsáchilas (1.226 ha y 17.725 t), y Manabí (1.786 ha y 9.756 t). Estas cifras reflejan el potencial de utilizar los residuos de este producto en aplicaciones sustentables.

Actualmente, los residuos de cáscara de maracuyá generados por la agroindustria ecuatoriana carecen de un sistema de gestión que permita su aprovechamiento eficiente, lo que deriva en su acumulación y desecho inadecuado. Un caso representativo es una empresa despulpadora localizada en la ciudad de Quito, la cual genera aproximadamente 3.250 kg de residuos de cáscara de maracuyá al mes, equivalentes a un total anual estimado de 39.000 kg (Vélez Vásquez, 2019). En este contexto, la disponibilidad masiva de biomasa residual plantea una oportunidad clave para su integración en la elaboración de materiales constructivos, contribuyendo así a la disminución en el consumo del cemento y al impulso de una economía circular en el ámbito industrial.

Para esta investigación se empleó la cáscara de maracuyá proveniente del cantón Sucre, provincia de Manabí, y el propósito fue evaluar el efecto de la sustitución parcial del cemento por ceniza de cáscara de maracuyá en proporciones del 5%, 10% y 15% en la fabricación de bloques artesanales, los cuales fueron sometidos a los métodos de ensayo estipulados por la norma ecuatoriana NTE INEN para analizar sus propiedades físicas y mecánicas, y así determinar la viabilidad de este recurso en el medio constructivo.

Material y métodos

Material

En Ecuador, los bloques de hormigón son fabricados artesanalmente en “bloqueras”, las cuales emplean moldes metálicos y son complementadas por el uso de una mezcladora para

homogenizar los materiales. La elaboración de los bloques destinados a esta investigación se basó en la dosificación utilizada por una bloquera ubicada en la parroquia Abdón Calderón de la ciudad de Portoviejo, usando los mismos materiales que normalmente emplean en la fabricación de los bloques comercializados, es decir: cemento hidráulico tipo GU, arena, chasqui y agua.

Para caracterizar adecuadamente los materiales empleados en la mezcla a fin de garantizar su calidad y comportamiento, se realizaron diferentes ensayos a cada uno de ellos a excepción del agua cuyo único requisito es el establecido por la norma NTE INEN 3066, es decir, tener calidad potable y estar exenta de concentraciones significativas de compuestos perjudiciales como sales y sustancias orgánicas.

El chasqui, también conocido como pómez triturada, es un material de origen volcánico que se transportó desde Latacunga, de la región Sierra, caracterizándose por sus poros y cavidades que le dan la presentación de estructura panaloide (Crespo, 2015). Es utilizado para disminuir el peso de los bloques sin comprometer su resistencia, que lo hace ideal para la construcción de paredes cuyo fin es reducir la carga estructural. Los ensayos realizados fueron gravedad específica y absorciones (NTE INEN 857:2010), humedad natural (AASHTO T 265-22), peso unitario (NTE INEN 858:2010) y granulometría (NTE INEN 696:2011).

La arena, o árido fino, corresponde a la fracción del árido que pasa por el tamiz N° 4 conforme a la norma NTE INEN 696. De acuerdo con (Chacón & Torres, 2024), su función principal es ocupar los vacíos entre las partículas del agregado grueso, favoreciendo una mayor densidad y reduciendo la porosidad en los bloques. Las propiedades a evaluar son equivalentes a las consideradas para el chasqui, aplicando la misma normativa en los distintos ensayos, a excepción del procedimiento para determinar la gravedad específica y absorciones del árido fino, el cual se rige por la norma NTE INEN 856:2010.

El cemento Pórtland constituye el tipo de cemento más común para aplicaciones generales en el mercado de la construcción, destacado por su resistencia, durabilidad y trabajabilidad (Maldonado, 2021). En la presente investigación se empleó cemento tipo GU, apropiado para usos que no requieren características específicas de los cementos especiales, conforme a lo estipulado en la norma NTE INEN 2380:2011.

La ceniza es el residuo que resulta después de calcinar materiales orgánicos, en esta ocasión se obtuvo ceniza de *passiflora edulis* f. *flavicarpa* (cáscara de maracuyá) al procesarse a una

temperatura de 600 °C en un horno termorregulador conforme a la recomendación de (Cotrina & Reyes de la Cruz, 2022), quienes indican un rango de entre 400 °C y 800 °C. En la tabla 1 y 2, se presenta la composición aproximada y la composición mineral de la cáscara de maracuyá, previas al calcinamiento, según el estudio de (Adeyeye & Aremu, 2017) y la investigación de (Dos Reis, Facco, Salvador, Flôres, & de Oliveira Rios, 2018):

Tabla 1

Composición aproximada de la cáscara de maracuyá (g/100g de peso seco).

Composición	Adeyeye & Aremu (2017)	Dos Reis et al. (2018)
Humedad	29,5	87,14
Carbohidratos	66,2	85,78
Proteínas	0,703	3,40
Lípidos	0,805	4,20
Fibra	1,89	61,16
Cenizas	0,898	6,62

Nota. Los datos fueron obtenidos de los estudios de (Adeyeye & Aremu, 2017) y (Dos Reis, Facco, Salvador, Flôres, & de Oliveira Rios, 2018).

Tabla 2

Composición mineral de la cáscara de maracuyá (mg/100g de peso seco).

Minerales	Adeyeye & Aremu (2017)	Dos Reis et al. (2018)
Zinc (Zn)	0,130	1,00
Hierro (Fe)	3,18	3,20
Manganeso (Mn)	0,235	0,50
Fósforo (P)	13,9	140
Sodio (Na)	22,3	2,20
Magnesio (Mg)	0,580	120
Potasio (K)	25,5	2600
Calcio (Ca)	11,0	250

Nota. Los datos fueron obtenidos de los estudios de (Adeyeye & Aremu, 2017) y (Dos Reis, Facco, Salvador, Flôres, & de Oliveira Rios, 2018).

Métodos

Esta investigación se fundamentó en artículos científicos relacionados, tal como el estudio de la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar (Gamonal, 2023) y el estudio de la incorporación de ceniza de cáscara de arroz (Cotrina & Reyes de la Cruz, 2022) en bloques

de hormigón. Esto con el propósito de tener una base con resultados prometedores que fomente la búsqueda de otros productos orgánicos que sirvan a la causa de la disminución en el consumo del cemento y el aprovechamiento de desechos.

Con el objetivo de evaluar el desempeño de los bloques elaborados a partir de los materiales descritos en el apartado anterior, se llevó a cabo el ensayo de compresión, el cual permite determinar la resistencia a la rotura de los bloques de hormigón comerciales y los bloques que incorporan un 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de maracuyá como reemplazo parcial del cemento. Los resultados obtenidos fueron clave para su clasificación en bloques tipo A, B o C, conforme a los criterios establecidos por la norma NTE INEN 3066, que establece dicha clasificación con base en su resistencia mínima a compresión: 12,4 MPa para el bloque tipo A, 3,5 MPa para el bloque tipo B y 1,4 MPa para el bloque tipo C. Para el caso de la bloquera ubicada en Abdón Calderón, se fabrican bloques tipo B con una resistencia característica de 3,5 MPa por bloque y un promedio de 4,0 MPa por cada tres bloques.

En la planta de producción de bloques, la dosificación base para fabricar 40 unidades de hormigón consiste en 25 kg de cemento, 200 kg de piedra pómez triturada (chasqui), 70 kg de arena y 16 litros de agua. A partir de esos 25 kg de cemento, se aplicaron tres proporciones diferentes de reemplazo (5%, 10% y 15%) con ceniza de cáscara de maracuyá, correspondientes a cada una de las muestras de diez bloques.

A continuación, se detalla en la tabla 3 la cantidad de materiales utilizada en cada variante de diseño, según el porcentaje de sustitución establecido.

Tabla 3

Dosificación de materiales para la elaboración de bloques con diferentes porcentajes de sustitución.

Porcentaje	Número de bloques	Peso de ceniza (kg)	Peso de cemento (kg)	Peso de chasqui (kg)	Peso de arena (kg)	Peso de agua (l)
0%	10 bloques	-	6,2500	50	17,5	4
5%	10 bloques	0,3125	5,9375	50	17,5	4
10%	10 bloques	0,6250	5,6250	50	17,5	4
15%	10 bloques	0,9375	5,3125	50	17,5	4
Total		1,8750	23,125	200	70	16

De acuerdo a la norma técnica NTE INEN 3066, las dimensiones de los bloques pueden establecerse mediante un convenio entre el fabricante y el comprador, siempre y cuando se

respeten las disposiciones exigidas por la regulación. Dado que la bloquera seleccionada elabora bloques tipo B, los requisitos a considerar son:

- La variación máxima en las dimensiones reales (largo, ancho y altura) respecto a las nominales debe ser de ± 3 mm.
- El espesor mínimo aceptable para paredes y tabiques es de 13 mm.
- Al definirse las medidas nominales, se debe asegurar que el largo del bloque sea superior al ancho.

La identificación de los bloques se realiza según sus dimensiones modulares, con base en la tabla 4, donde los valores de largo, ancho y altura tanto de las dimensiones modulares como de las nominales pueden combinarse libremente entre sí:

Tabla 4

Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón.

Dimensiones modulares (nM)			Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
4	3	2	400	300	200	390	290	190
3	x	2,5	300	x	250	290	x	240
		1,5			150			140
2	1	1	200	100	100	190	90	90

Nota. De la norma ecuatoriana NTE INEN 3066:2016.

Las medidas correspondientes a los moldes utilizados en la bloquera son: largo (l) de 400 mm, ancho (a) de 100 mm, y altura (h) de 200mm, las cuales responden a una combinación de 400 mm x 100 mm x 200 mm.

Una vez moldeados, los bloques de hormigón fueron agrupados en cada lote de diez unidades y marcados acorde al porcentaje de sustitución incorporado en su mezcla. Después del fraguado, que duró aproximadamente 8 horas, se estableció un régimen de curado de 7 días durante el cual los bloques fueron regados diariamente para garantizar el desarrollo óptimo de su resistencia. Posteriormente se procedió al secado, cuya duración varía según las condiciones climáticas; el personal de la bloquera manifestó que este proceso puede extenderse de 14 a 28 días durante el invierno y reducirse a entre 7 y 14 días en verano. Dado que la producción se realizó en febrero, mes que pertenece a la temporada invernal, los

bloques fueron sometidos a un período de secado de 14 días, con exposición directa a la intemperie y a la radiación solar.

Tras este lapso de curado y secado, se procede a transportar los bloques, separados por lote, a un laboratorio especializado de la ciudad de Portoviejo, donde se cuenta con los equipos necesarios para efectuar los ensayos establecidos por la norma NTE INEN 3066. El muestreo y los métodos de ensayo estipulados por la norma se indican en la tabla 5:

Tabla 5

Cantidad de bloques acorde al método de ensayo.

Propiedad	Número de bloques
Dimensiones	3
Aspectos visuales	Lote completo
Absorción, densidad y otros	3
Resistencia a la compresión simple	3

Nota. De la norma ecuatoriana NTE INEN 3066:2016.

En el análisis de las dimensiones, se seleccionaron 3 unidades de cada grupo para medir y registrar en el informe los siguientes datos:

- El ancho (a) en el borde superior y en el borde inferior del bloque.
- La altura (h) y el largo (l) en el centro de ambas caras del bloque.
- El espesor de pared (Ep) y el espesor de tabique (Et) en la zona más estrecha del bloque.

Los valores para la determinación de la absorción, el contenido de humedad y la densidad de los bloques se realizó con las mismas unidades seleccionadas en el análisis de las dimensiones, mediante el uso de una balanza electrónica programada en gramos. El primer valor obtenido fue la masa de cada unidad tal y como se recibe de la bloquera (Mr). Luego, conforme a la norma NTE INEN 3066, fueron sumergidos en agua durante 24 horas a temperatura ambiente, que varió entre 24 °C y 27 °C a lo largo del día. El segundo valor se determinó al pesar en la balanza la masa de cada unidad completamente sumergida mientras están suspendidas en un alambre (Mi). Entonces, se las sacó del agua, se las dejó escurrir durante 60 segundos y se retiró el agua visible con un paño húmedo, a fin de obtener la masa de la unidad saturada (Ms). Por último, se las dejó secar en un horno a 110 °C durante otras 24 horas para registrar esos resultados como la masa de la muestra seca al horno (Md).

Estos datos obtenidos de cada bloque sirvieron para realizar los cálculos establecidos en la norma, sin embargo, tanto los resultados para las dimensiones como para los ensayos de absorción no cuentan con una distinción de requisitos para los bloques clase B que fabrica la bloquera escogida, por tanto, esta información es exclusiva para completar el informe basado en la norma INEN 3066 (vea el anexo A), adaptado para los fines pertinentes.

Con respecto al aspecto visual de cada bloque de hormigón, se verificó que no se presenten los siguientes defectos en más del 5% de las unidades entregadas, de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 3066:

- Despostillados de más de 25 mm.
- Fisuras con un ancho superior a 0,5 mm y largo superior a 25% de la altura del bloque.
- Unidades rotas.

Para el ensayo de resistencia a la compresión simple, se calcula el área efectiva de carga por cada bloque sin considerar los vacíos con el fin de ingresar este dato en la prensa hidráulica del laboratorio. Para el caso de los bloques de hormigón, ya que presentan rugosidades que desregularizan el área de contacto, se colocó una lámina de neopreno tanto por debajo como por encima para garantizar la distribución uniforme de las cargas durante los ensayos. Se procedió a ensayar los cuarenta bloques a una velocidad de 900 N/s empezando por los bloques comercializados, que sirvieron como punto de partida para la comparación con los bloques que contienen ceniza de cáscara de maracuyá. Los resultados fueron arrojados en kilonewtons (kN) y en megapascuales (MPa).

Figura 1

Bloque ensayado a compresión simple con rotura a la vista.



Resultados

En la tabla 6 se presentan las medidas reales de ancho, altura, largo, espesor de pared y espesor de tabique de los bloques de hormigón seleccionados para el análisis de las dimensiones:

Tabla 6

Dimensiones reales de los bloques de hormigón según el porcentaje de sustitución de la ceniza de cáscara de maracuyá por cemento.

Porcentaje de sustitución	Número de bloque	Dimensiones					
		Ancho (a)		Altura (h)		Largo (l)	
		Borde superior (mm)	Borde inferior (mm)	Cara 1 (mm)	Cara 2 (mm)	Cara 1 (mm)	Cara 2 (mm)
0%	No. 1	90	91	190	191	390	389
	No. 2	89	90	193	192	390	390
	No. 3	90	90	189	190	388	389
5%	No. 4	93	92	190	190	390	391
	No. 5	90	90	191	190	393	392
	No. 6	88	89	189	189	390	390
10%	No. 7	90	91	190	190	391	390
	No. 8	90	90	191	192	389	389
	No. 9	92	92	190	190	390	389
15%	No. 10	90	90	191	191	391	390
	No. 11	91	92	193	192	392	391
	No. 12	89	90	190	190	389	390

Porcentaje de sustitución	Número de bloque	Dimensiones					
		Espesor de cara (Ep)		Espesor de tabique (Et)			
		Cara 1 (mm)	Cara 2 (mm)	Tabique 1 (mm)	Tabique 2 (mm)	Tabique 3 (mm)	Tabique 4 (mm)
0%	No. 1	30	30	34	33	35	35
	No. 2	27	28	33	34	34	35
	No. 3	29	30	33	32	34	34
5%	No. 4	29	30	34	34	33	33
	No. 5	28	30	35	33	34	33
	No. 6	30	30	33	35	35	34
10%	No. 7	27	28	33	34	35	33
	No. 8	29	29	32	33	34	33
	No. 9	30	30	34	33	33	35
15%	No. 10	28	29	33	33	34	35
	No. 11	30	29	31	32	33	33
	No. 12	29	29	33	35	34	34

A fin de obtener los resultados correspondientes a los ensayos de absorción de los bloques de hormigón, se organizó la información pertinente en la tabla 7:

Tabla 7

Datos obtenidos de la balanza electrónica para los respectivos ensayos de absorción.

Porcentaje de sustitución	Número de bloque	Masa tal como se recibe (Mr) (kg)	Masa del bloque sumergido (Mi) (kg)	Masa del bloque saturado (Ms) (kg)	Masa del bloque seco al horno (Md) (kg)
0%	No. 1	4,8897	2,0870	5,2930	4,6022
	No. 2	4,9532	2,0680	5,3435	4,6511
	No. 3	4,6860	2,1305	5,4165	4,9714
5%	No. 4	4,8758	2,0434	5,3029	4,5613
	No. 5	4,8835	2,0359	5,3245	4,5880
	No. 6	4,9123	2,0224	5,3146	4,5856
10%	No. 7	4,8812	1,9910	5,3171	4,5659
	No. 8	4,8674	2,0127	5,3264	4,5578
	No. 9	4,8736	1,9758	5,3327	4,5666
15%	No. 10	4,8725	1,9773	5,3359	4,5441
	No. 11	4,8803	1,9804	5,3371	4,5543
	No. 12	4,8691	1,9691	5,3312	4,5599

Nota. Los valores fueron convertidos de gramos a kilogramos acorde a la unidad requerida en los cálculos estipulados por la norma NTE INEN 3066.

Conforme a la norma NTE INEN 3066, en la tabla 8 se presentan las ecuaciones para calcular los valores de absorción, contenido de humedad, densidad, volumen neto y porcentaje sólido de cada bloque de hormigón seleccionado:

Tabla 8

Ecuaciones para los cálculos correspondientes a los ensayos de absorción.

Absorción		Contenido de humedad	Densidad (D)	Volumen neto (V _n)	Porcentaje sólido
kg/m ³	%	%	kg/m ³	mm ³	%
$\frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} * 1000$	$\frac{M_s - M_d}{M_d} * 100$	$\frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} * 100$	$\frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000$	$\frac{M_d}{D} * 10^6$	$\frac{V_n}{l \times a \times h} * 100$
Donde: M _r es la masa del bloque tal como se recibe (kg). M _i es la masa del bloque sumergido (kg). M _s es la masa del bloque saturado (kg). M _d es la masa del bloque seco al horno (kg).					

Nota. Adaptado de la norma ecuatoriana NTE INEN 3066.

En conjunto, se hizo uso de los datos recopilados en la tabla 7 y las ecuaciones mencionadas en la tabla 8 para posteriormente organizar los resultados para cada apartado en la tabla 9, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 9

Resultados obtenidos de los cálculos correspondientes a los ensayos de absorción.

Porcentaje de sustitución	Número de bloque	Absorción		Contenido de humedad (%)	Densidad (kg/m ³)	Volumen neto (mm ³)	Porcentaje sólido (%)
		kg/m ³	%				
0%	No. 1	215,47	15,01	41,62	1435,50	3206000	40,08
	No. 2	211,39	14,89	43,63	1419,97	3275500	40,94
	No. 3	222,31	15,59	39,07	1426,05	3286000	41,08
	Prom.	216,39	15,16	41,44	1427,17	3255833	40,70
5%	No. 4	227,52	16,26	42,41	1399,39	3259500	40,74
	No. 5	223,96	16,05	40,12	1395,12	3288600	41,11
	No. 6	221,43	15,90	44,81	1392,87	3292200	41,15
	Prom.	224,30	16,07	42,45	1395,79	3280100	41,00
10%	No. 7	225,85	16,45	41,97	1372,75	3326100	41,58
	No. 8	231,95	16,86	40,28	1375,44	3313700	41,42
	No. 9	228,22	16,78	40,07	1360,36	3356900	41,96
	Prom.	228,67	16,70	40,78	1369,52	3332233	41,65
15%	No. 10	235,75	17,42	41,48	1352,97	3358600	41,98
	No. 11	233,21	17,19	41,65	1356,78	3356700	41,96
	No. 12	229,41	16,91	40,09	1356,27	3362100	42,03
	Prom.	232,79	17,18	41,07	1355,34	3359133	41,99

Nota. La tabla evidencia los resultados respectivos a los cálculos estipulados por la norma técnica NTE INEN 3066.

En el anexo A se reproducen los datos consignados en las tablas 6, 7 y 9, los cuales fueron procesados en una hoja de trabajo acorde a los lineamientos de la norma NTE INEN 3066. Es pertinente señalar que las unidades utilizadas para el registro de dimensiones reales en la tabla 6 fueron las mismas que se emplearon para las pruebas de absorción de la tabla 9. Los resultados para ambos ensayos físicos tienen únicamente carácter informativo al no contar con requisitos normativos para los bloques de hormigón tipo B o C, como es el caso.

Para finalizar, en la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión por bloque para cada grupo, según el porcentaje de sustitución.

Tabla 10

Resistencia a compresión de los bloques de hormigón según el porcentaje de sustitución de ceniza de cáscara de maracuyá por cemento.

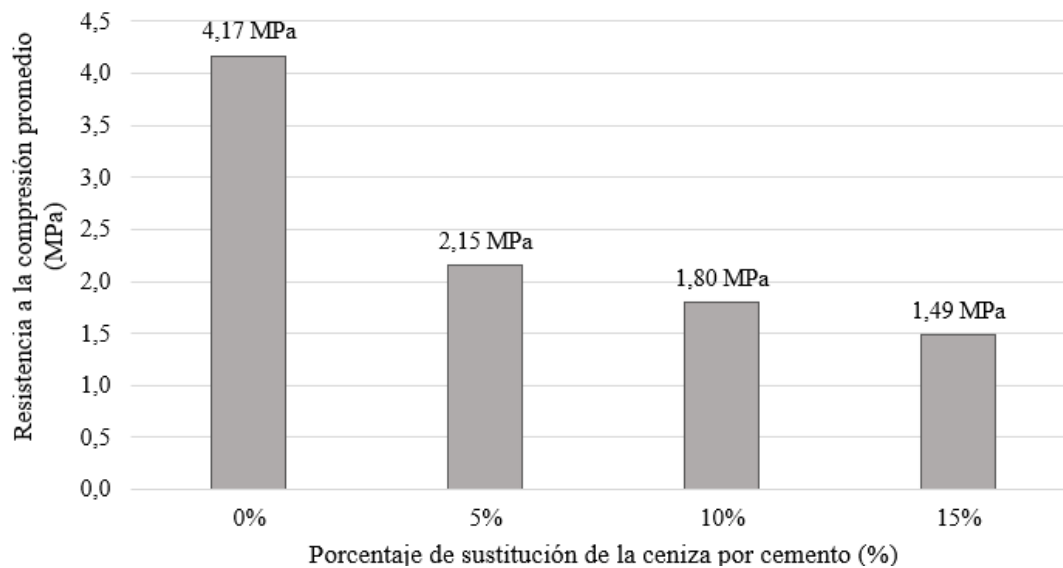
Porcentaje de sustitución	0%	5%	10%	15%
Resistencia a la compresión simple (MPa)	5,4	1,7	1,6	1,5
	3,4	2,5	1,6	1,4
	4,2	1,8	1,5	1,4
	4,6	2,0	1,6	1,5
	4,0	3,0	1,4	1,2
	3,5	2,0	2,1	1,4
	3,9	2,4	2,1	1,2
	4,2	2,2	2,5	1,7
	3,8	2,0	1,9	2,0
	4,7	1,9	1,7	1,6
Promedio de la resistencia a la compresión simple (MPa)	4,17	2,15	1,80	1,49

Nota. La tabla resume los valores obtenidos de la prensa hidráulica, correspondientes a las resistencias a compresión de los 40 bloques de hormigón, en megapascuales (MPa).

En la figura 2, se representa el comportamiento de la resistencia promedio de los bloques de hormigón según el porcentaje de reemplazo de ceniza de cáscara de maracuyá por cemento.

Figura 2

Resistencias promedio a compresión de los bloques de hormigón ensayados.



Nota. Se muestra una reducción en el promedio de la resistencia a compresión de los bloques a medida que incrementa el porcentaje de sustitución de la ceniza de cáscara de maracuyá.

Discusión

Respecto al análisis de las dimensiones, se evidenció previamente una combinación para las medidas modulares de 400 mm x 100 mm x 200 mm. Basándose en juntas de 10 mm, las medidas nominales de los bloques de hormigón se expresan como 390 mm x 90 mm x 190 mm, por tanto, se cumple que el largo es superior al ancho ya que $390\text{ mm} > 90\text{ mm}$.

Con base en la tabla 6, se comprobó que las medidas reales de ancho, altura y largo de las unidades, tomadas en milímetros con un flexómetro, no superaron los 3 mm de tolerancia de las dimensiones nominales. Además, considerando que el espesor de pared (E_p) es de 30 mm y el espesor de tabique (E_t) es de 35 mm, se cumple con el valor mínimo de 13 mm para ambos casos, tal y como lo indica la norma NTE INEN 3066.

El aspecto más relevante de esta investigación es la relación inversa entre el porcentaje de sustitución de ceniza de cáscara de maracuyá por cemento y la resistencia a compresión de los bloques de hormigón; a mayor porcentaje de reemplazo, menor fue la resistencia alcanzada por los bloques.

De acuerdo a los datos de la tabla 10, los bloques de hormigón con un 5% de sustitución de ceniza de cáscara de maracuyá por cemento alcanzaron en promedio una resistencia de 2,15 MPa, los de 10% obtuvieron 1,80 MPa, y los de 15% presentaron una resistencia de 1,49 MPa. En comparación al promedio de la resistencia mínima para los bloques tipo B que fabrica la bloquera de Abdón Calderón, 3,5 MPa por bloque y 4,0 MPa en promedio de cada tres bloques, se evidencia que las unidades con porcentaje de sustitución parcial no lograron alcanzar la efectividad esperada. Esta tendencia demuestra una generalización válida para el caso: la ceniza de cáscara de maracuyá presenta un comportamiento mecánico que no iguala al del cemento en términos de resistencia a la compresión.

A diferencia de los estudios previos, como los realizados por (Cotrina & Reyes de la Cruz, 2022) sobre el uso de la ceniza de cáscara de arroz, y por (Gamonal, 2023) con la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, en esta investigación no se logró superar la resistencia a compresión de los bloques comercializados, posiblemente debido a la temperatura seleccionada (600°C) y las condiciones de calcinación, y/o debido al tipo de residuo, es decir, gracias a la composición química y mineral de la ceniza de cáscara de maracuyá.

Sin embargo, una particularidad identificada es que, a pesar de la reducción en la resistencia, los bloques con 5% y 10% de reemplazo sí superaron el valor mínimo exigido por la norma

NTE INEN 3066 para los bloques clasificados como tipo C, cuyo requisito es una resistencia mínima de 1,4 MPa por bloque y 1,7 MPa en promedio de cada tres bloques. Por tanto, desde una perspectiva práctica, la incorporación de la ceniza de cáscara de maracuyá puede considerarse viable para aplicaciones no estructurales, como elementos de cerramiento o en muros no estructurales, siempre que el reemplazo no exceda al 10%.

Estos hallazgos demuestran que los residuos agroindustriales, como la cáscara de maracuyá, manifiestan cierto potencial como materiales alternativos en la construcción, siempre que se estudien y optimicen sus condiciones de transformación. Bajo estricto control, podría representar una solución sostenible para el manejo de residuos de maracuyá en zonas con alta producción de esta fruta, como Esmeraldas, Santo Domingo y Manabí. Los valores de resistencia obtenidos, respaldados por los ensayos realizados con prensa hidráulica, constituyen pruebas directas de la viabilidad limitada, aunque no despreciable, de este material en su estado actual.

Conclusiones

Los ensayos realizados demostraron que la sustitución parcial del cemento por ceniza de cáscara de maracuyá en proporciones del 5%, 10% y 15% afectó negativamente la resistencia a la compresión de los bloques artesanales de hormigón al no alcanzar el valor mínimo de resistencia exigido para los bloques tipo B por la norma ecuatoriana NTE INEN 3066.

En particular, los bloques con 5% de sustitución alcanzaron un promedio de resistencia a la compresión de 2,15 MPa, los del 10% alcanzaron 1,80 MPa y los del 15% obtuvieron 1,49 MPa. Estos valores están por debajo del límite exigido para los bloques tipo B, sin embargo, según la clasificación de la NTE INEN 3066, los bloques con 5% y 10% de reemplazo se pueden clasificar como bloques tipo C porque superan el promedio mínimo requerido de 1,7 MPa en promedio para este tipo de bloque.

En este contexto, el uso de ceniza de cáscara de maracuyá presenta, desde un enfoque sostenible, una posible alternativa para reducir el uso del cemento y gestionar estos residuos agroindustriales en Ecuador, siendo perfectamente viable para su aplicación a muros no portantes, siempre y cuando se trate en proporciones de reemplazo de hasta un 10%.

Por último, se recomienda realizar estudios adicionales para mejorar la activación puzolánica de la ceniza de cáscara de maracuyá, modificando sus dosificaciones o combinándola con adiciones de otros materiales que potencien la resistencia de los bloques de hormigón.

Referencias bibliográficas

- Adeyeye, E., & Aremu, M. (26 de Marzo de 2017). Chemical Composition of the Raw Fruit Coat, Seed and Pulp of Passion Fruit (*Passiflora edulis*). *FUW Trends in Science & Technology Journal*, 2(1), 334-341. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318227292_Chemical_composition_of_the_raw_fruit_coat_seed_and_pulp_of_passion_fruit_Passiflora_edulis
- American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). (2022). *Standard Method of Test for Laboratory Determination of Moisture Content of Soils*. (AASHTO T 265). <https://transportation.org/>
- Chacón, J., & Torres, F. (21 de Junio de 2024). Estudio comparativo de las propiedades físico - mecánicas de un hormigón elaborado con agregados gruesos de origen triturado y zarandeado. *Polo del Conocimiento*, 9(6), 2387-2404. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v9i6.7446>
- Cotrina, H., & Reyes de la Cruz, J. (2022). *Elaboración de bloques de concreto con ceniza de cáscara de arroz para mejorar la resistencia a la compresión y reducir costos de producción, Piura*. [Tesis de Grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/10207>
- Crespo, S. (11 de Noviembre de 2015). *Construcción de mampostería de bloque de pómez, mediante la prefabricación de macro elementos modulares*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22855>
- Dos Reis, L. C., Facco, E. M., Salvador, M., Flôres, S. H., & de Oliveira Rios, A. (2018). Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2679-2691. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3190-2>
- Gamonal, M. (2023). *Caracterización Mecánica de un Ladrillo de Bloque de Concreto Incorporando Ceniza de Bagazo de Caña*. [Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11084>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. (NTE INEN 856). <https://www.normalizacion.gob.ec/>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. (NTE INEN 857). <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. (NTE INEN 858). <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. (NTE INEN 696). <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. (NTE INEN 2380). <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2016). *Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. (NTE INEN 3066). <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Estadísticas Agropecuarias*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Maldonado, D. (Enero de 2021). *Estudio de la zeolita natural como sustituto parcial del cemento tipo GU en la construcción*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31997>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2024). *Informe sobre la Brecha de Emisiones 2024: ¡No más promesas de humo... Por favor! Con una enorme brecha entre la retórica y la realidad, los países redactan nuevos compromisos climáticos*. doi:<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2019). *Propuesta de Norma E.070 Albañilería*. Obtenido de <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf>
- Vélez Vázquez, A. S. (Marzo de 2019). *Cuantificación y análisis proximal de residuos agroindustriales generados en despulpadoras de fruta del distrito metropolitano de Quito*. [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

Anexos

Anexo A. Informe de ensayos basado en la norma NTE INEN 3066

Informe de ensayos de acuerdo con NTE INEN 3066									
Especificación del bloque: Bloque tipo B									
Dimensiones reales de los bloques de hormigón									
Fecha de ensayo:				2025-02-18					
% de reemplazo	Espécimen No.	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Largo promedio (mm)	Espesor de cara prom. (mm)	Espesor de tabique prom. (mm)			
0%	1	91	191	390	30	34			
	2	90	193	390	28	34			
	3	90	190	389	30	33			
	Promedio	90	191	390	29	34			
5%	4	93	190	391	30	34			
	5	90	191	393	29	34			
	6	89	189	390	30	34			
	Promedio	91	190	391	30	34			
10%	7	91	190	391	28	34			
	8	90	192	389	29	33			
	9	92	190	390	30	34			
	Promedio	91	191	390	29	34			
15%	10	90	191	391	29	34			
	11	92	193	392	30	32			
	12	90	190	390	29	34			
	Promedio	91	191	391	29	33			
Resultados de los ensayos de absorción									
Fecha de ensayo:				2025-02-18					
% de reemplazo	Espécimen No.	Masa tal como se recibe (Mr) (kg)	Masa del esp. sumergido (Mi) (kg)	Masa del esp. saturado (Ms) (kg)	Masa del esp. seco al horno (Mg) (kg)	Absorción (kg/m³)	Densidad (kg/m³)	Volumen neto (m³)	Porcentaje sólido (%)
0%	1	4,89	2,09	5,29	4,60	215	1436	0,0032	40,08
	2	4,95	2,07	5,34	4,65	211	1420	0,0033	40,94
	3	4,69	2,13	5,42	4,97	222	1426	0,0033	41,08
	Prom.	4,84	2,10	5,35	4,74	216	1427	0,0033	40,70
5%	4	4,88	2,04	5,30	4,56	228	1399	0,0033	40,74
	5	4,88	2,04	5,32	4,59	224	1395	0,0033	41,11
	6	4,91	2,02	5,31	4,59	221	1393	0,0033	41,15
	Prom.	4,89	2,03	5,31	4,58	224	1396	0,0033	41,00
10%	7	4,88	1,99	5,32	4,57	226	1373	0,0033	41,58
	8	4,87	2,01	5,33	4,56	232	1375	0,0033	41,42
	9	4,87	1,98	5,33	4,57	228	1360	0,0034	41,96
	Prom.	4,87	1,99	5,33	4,57	229	1370	0,0033	41,65
15%	10	4,87	1,98	5,34	4,54	239	1353	0,0034	41,98
	11	4,88	1,98	5,34	4,55	233	1357	0,0034	41,96
	12	4,87	1,97	5,33	4,56	229	1356	0,0034	42,03
	Prom.	4,87	1,98	5,34	4,55	233	1355	0,0034	41,99