

Preparation of mortar with coffee husk ash and its influence on compression resistance

Elaboración de mortero con la ceniza de cáscara de café y su incidencia en la resistencia de la compresión

Autores:

Guevara-Mieles, Eduardo Antonio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Portoviejo – Ecuador



eguevara6224@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0003-1769-2074>

Rosado-Alcivar, Wendy Virginia
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Portoviejo – Ecuador



wrosado4601@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0002-1465-5019>

Ing. Ruiz-Párraga, Wilter Enrique
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Maestría en Ingeniería Civil
Docente del Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura
Portoviejo – Ecuador



wilter.ruiz@utm.edu.ec



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

Fechas de recepción: 05-ENE-2025 aceptación: 05-FEB-2025 publicación: 15-MAR-2025



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

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

En los últimos años han surgido problemáticas medio ambientales a nivel mundial, a causa de las emisiones de CO₂ que produce la fabricación de cemento, es por ello que la industria de la construcción busca alternativas eco-amigables, dándole uso a los residuos orgánicos, para mejorar las propiedades mecánicas y estructurales del hormigón o morteros. Esta investigación se enfocó en el uso de la ceniza proveniente de la cáscara de café como un sustituto parcial del cemento, ya que la ceniza contiene propiedades puzolánicas, que favorecen la resistencia a la compresión del hormigón, los porcentajes empleados para la sustitución fueron del 5%, 10% y 15%, además se prepararon muestras con arena del río Puca del cantón de Olmedo y arena de banco de la parroquia de Crucita, ambas pertenecientes a Manabí. Se realizó la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos a los 28 días de curado, entre el mortero patrón y el mortero con sustitución parcial del cemento, el mortero elaborado fue tipo S, que tiene como resistencia 12,4 MPa como lo indica NTE INEN 2518-2010, de la investigación se determinó que con la arena del río Puca el 5%, 10% y 15% cumplen con las resistencias especificadas en la norma sin superar la muestra patrón, mientras que con la arena de banco de la parroquia de Crucita con el 5% y 10% cumplen con las resistencias especificadas en la norma. Con estos valores se pudo determinar que se puede sustituir parcialmente el cemento con la ceniza de cáscara de café en los porcentajes antes indicados.

Palabras clave: Morteros; Ceniza de cáscara de café; Resistencia a la compresión; Puzolanas; Cemento

Abstract

In recent years, environmental problems have arisen worldwide, due to the CO₂ emissions produced by cement manufacturing, which is why the construction industry is looking for eco-friendly alternatives, using organic waste, to improve the mechanical and structural properties of concrete or mortars. This research focused on the use of ash from coffee husks as a partial substitute for cement, since ash contains pozzolanic properties, which favor the compressive strength of concrete. The percentages used for the substitution were 5%, 10% and 15%. In addition, samples were prepared with sand from the Puca River in the canton of Olmedo and bank sand from the parish of Crucita, both belonging to Manabí. The comparison of the results obtained from the tests at 28 days of curing was carried out, between the standard mortar and the mortar with partial replacement of cement, the mortar prepared was type S, which has a resistance of 12.4 MPa as indicated by NTE INEN 2518-2010, from the investigation it was determined that with the Puca River sand 5%, 10% and 15% comply with the resistances specified in the standard without exceeding the standard sample, while that with the bench sand from the parish of Crucita with 5% and 10% they comply with the resistances specified in the standard. With these values it was determined that the cement can be partially replaced with coffee husk ash in the percentages indicated above.

Keywords: Mortars; Coffee husk ash; Compression resistance; Pozzolans; Cement

Introducción

De acuerdo al Foro Económico Mundial (2023), “Cada año se producen cuatro toneladas de hormigón por cada habitante de la Tierra, ... pero eso tiene un precio, el cemento, ... es responsable del 8% de todas las emisiones mundiales de carbono”.

Para la producción de una tonelada métrica de cemento se genera una tonelada métrica de dióxido de carbono. De la misma manera para producir una tonelada del componente principal del cemento, conocido como “clínker” se necesitan hasta tres toneladas de recursos no renovables, este gasto evidencia la importancia de encontrar una solución que reduzca el impacto climático de la producción de hormigón (Matallana, 2019).

Tal y como menciona Weninger (2020) la demanda del cemento se ha incrementado a nivel mundial y en Latinoamérica, ya que este material es necesario para las construcciones civiles de todo tipo.

La industria cementera ecuatoriana es responsable de aproximadamente el 7 % de las emisiones de CO₂ a escala nacional, cada año, y consciente de ello, ha anunciado una iniciativa ambiciosa para mitigar este aspecto, y contribuir al desarrollo sostenible del país (Energía Estratégica, 2024)

Por ello, el hormigón a lo largo de su historia ha sufrido modificaciones, añadiendo o sustituyendo los materiales convencionales por diferentes residuos que se encuentran en la naturaleza intentando mejorar sus propiedades.

En cuanto a los avances de la tecnología y la búsqueda de alternativas eco amigables en la industria de la construcción para la elaboración de materiales se están dando uso a los desechos orgánicos de ciertos productos como; la cascarilla de arroz, cascarilla de café, ceniza de madera, bagazo de caña de azúcar, entre otros. De tal forma que estos residuos sean aprovechados dentro del ámbito de las construcciones civiles, para mejorar las propiedades mecánicas y estructurales del hormigón o mortero.

Las cenizas de distintos productos han sido utilizadas como alternativa en el diseño de mezclas de hormigón, todo esto, con la finalidad de mejorar las propiedades de la mezcla. Ya que al utilizar cenizas naturales de productos que se encuentran fácilmente en el entorno, se contribuiría con el impacto ambiental que tiene la producción de estas mezclas (Iparraguirre, 2021)

En este contexto, la presente investigación se enfocó en la utilización de la ceniza proveniente de la cáscara de café como sustituto parcial del cemento por poseer propiedades puzolánicas tal como menciona Hurtado (2023) en su investigación.

De acuerdo a lo expresado en el trabajo realizado por Hurtado (2023), este expresa que “Las cenizas para la fabricación de hormigón pueden mejorar la trabajabilidad en estado fresco,

permitiendo su colocación y compactación, además pueden ser utilizadas para sustituir parcialmente el cemento, y ayuda a disminuir los costos de la producción del hormigón” (p. 32), estas aseveraciones impulsan realizar una investigación en dónde se compruebe la veracidad de sus afirmaciones.

Teniendo en cuenta que la cascarilla de café proviene del despulpado del café, y es un residuo que no tiene uso comercial, lo que genera problemáticas ambientales dentro de la zona, y considerando además que, este subproducto al ser incinerado y tamizado contiene propiedades puzolánicas, “estás pueden ser usadas como adición o sustituto del cemento porque generan altas resistencias” (Hurtado, 2023, p. 32).

En lo señalado por Molocho y Rodriguez (2020) para la calcinación de la cascarilla de café se requieren entre 800 a 900 °C, luego de esto se debe triturar para ganar finura y esta pase el tamiz N°100, posteriormente ser incorporada en el hormigón.

El origen de las puzolanas se remonta cuando los griegos la confundieron con la ceniza volcánica, su nombre se toma como “Puzolana”, porque el hecho ocurrió en “Puzzoli”, y estas se pueden clasificar en puzolanas naturales, artificiales y mixtas (Matallana, 2019).

Las puzolanas artificiales se forman tras un tratamiento térmico, no todas pueden ser potencialmente cementantes, para ello deben contener sílice amorfa y no cristalina, para que reaccione con la portlandita (Romero, 2020).

En la investigación de Díaz y Fernandez (2019) contemplan que “al utilizar la ceniza de cáscara de café (CCC) como adición para el hormigón en 1% y 2%, se muestra una mayor resistencia a la compresión; y al adicionar en 4% y 8%, en comparación con el hormigón patrón, la resistencia a la compresión se reduce” (p. 94), contribuyendo a los avances en el área de construcción mostrando cómo el porcentaje de adición puede influir en el comportamiento de un material tan importante como el hormigón y abriendo la interrogante de qué otros porcentajes deberían verificarse para conocer la influencia que puedan tener.

Para Molocho y Rodríguez (2020) en su trabajo titulado “Adición de la cascarilla de café y sus cenizas para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón $f'c=210$ kg/cm², en las viviendas económicas de Moyobamba – 2020” determinaron que las adiciones de 5%, 10% y 15 % de cascarilla de café, no alcanzaron la resistencia establecida por la Normativa Técnica Peruana NTP 399.611, por el contrario, la adición de 5%, 10% de ceniza y 5% de combinación de cascarilla de café y ceniza, tuvieron una resistencia óptima (p. 52).

En la investigación Palacios (2021) titulada “Evaluación de resistencia a compresión del concreto $f'c= 210$ kg/cm² con adición de ceniza de coronta y nuez, Vilcashuamán, Ayacucho 2021” donde emplearon 0,30 , 0,60 y 0,90 % de ceniza de cáscara de nuez llegando a concluir que la resistencia del concreto con tales aditivos supera su resistencia de diseño siendo favorable su empleo.

(Khan et al., 2020) en su artículo científico “Uso eficaz de la microsilíce extraída de las cenizas de cáscara de arroz para la producción de mortero de cemento sostenible y de alto rendimiento”, realizaron la sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de arroz (CCA) en porcentajes de 5, 15 y 25%, en los resultados se evidenciaron que las mezclas del 5 y 15% superaron a la muestra patrón, y con el 25% obtuvieron una ligera reducción en su resistencia.

De acuerdo con (Ccana, 2021), la “Influencia de la ceniza de madera del capulí sobre las propiedades físico mecánicas para un diseño de concreto $f'c=210$ kg/cm², Cusco 2021” realizó la sustitución parcial de 5%, 10% y 15%, y demostró que la resistencia mejora, concluyendo que la ceniza de madera de capulí en las alternativas del 5% y 10% son aptas en la resistencia a compresión, teniendo resultados favorables en comparación de la compresión inicial.

Para la Asociación Nacional Ecuatoriana de Café (Anecafé), Ecuador produce al año alrededor de 250.000 sacos de café de 60 kilos, en sus dos variedades: arábica y robusta. Manabí es una de las provincias de mayor producción cafetalera de Ecuador, con alrededor del 40% equivalente a 100.000 sacos de 60kg producidos en el país. La producción de café en la provincia de Manabí se concentra principalmente en los cantones Jipijapa, Portoviejo, Olmedo, 24 de Mayo, Paján y Santa Ana, aunque existen pequeños cultivos a lo largo de casi toda la provincia (Coffee Media, 2019). Por lo que en la presente investigación se propone el uso de este material en la elaboración de mortero, para analizar la influencia que puede tener este en la resistencia del mismo, para esto se utilizó una variante de café arábica (Coffea Arabica), proveniente del cantón de Olmedo.

Materiales y métodos

Materiales

Morteros:

El mortero es la mezcla de arena, agua, cemento y en ocasiones cal, es utilizado en muchas aplicaciones del ámbito de la construcción, tales como colocación de ladrillos o bloques, revestimientos de paredes, y reparación de pisos, su función es proporcionar una unión fuerte y duradera entre los materiales de construcción, de tal forma que se crea una estructura resistente.

La norma NTE INEN 2518 clasifica a los morteros por su resistencia en; M, N, S y O a la edad de 28 días de curado, y para elegir un tipo mortero depende de las necesidades del elemento estructural. Dentro de esta investigación se utilizó el mortero tipo S.

Tipo M.- Es una mezcla que ofrece más durabilidad que otros morteros, es recomendada para mampostería de refuerzo, teniendo como resistencia mínima a la compresión de 17,2 MPa a la edad de 28 días.

Tipo S.- Tiene una resistencia de adherencia para paredes, debe usarse en estructuras que estén sometidas a cargas de compresión media, su resistencia mínima a la compresión es de 12,4 MPa a la edad de 28 días.

Tipo N.- Se utiliza en estructuras de mampostería, es de mediana resistencia teniendo como resistencia mínima a la compresión de 5,2 MPa a la edad de 28 días.

Tipo O.- Es un mortero de baja resistencia, se usa en elementos no estructurales, manteniendo una resistencia mínima a la compresión de 2,4 MPa a la edad de 28 días.

Cemento:

La NTE INEN 151-2010 define al cemento portland como el cemento hidráulico que es producto de la pulverización del clínker, contiene silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y adiciones de proceso. Para esta investigación se utilizó cemento portland tipo GU, con su peso específico de 3150 kg/cm³.

Agregado fino:

Según la NTE INEN 694-2010 define al árido fino como resultante de la desintegración de rocas, gravas, escorias o de arenas naturales, y esta debe pasar por el tamiz de 4.75mm (N°4). En la presente investigación se emplearon dos tipos de agregados finos, uno proveniente del río Puca del cantón de Olmedo, y otro del banco de la parroquia de Crucita, ambas ubicadas en la provincia de Manabí.

Agua:

Es un componente esencial dentro de la construcción, influye en las propiedades del estado fresco y endurecido del hormigón, además según la NTE INEN 2617-2012, debe de ser potable libre de cantidades apreciables de material.

Ceniza de cáscara de café:

La ceniza se obtiene del proceso donde se expone a temperaturas extremas la cascarilla de café, dejando así solo cenizas; estas cenizas estarían constituidas por los óxidos de los minerales que estaban presentes en el café antes de ser calcinados o quemados para el análisis (Mendieta y Salas , 2022). La cascarilla de café para este estudio se obtuvo del cantón de Olmedo.

A continuación, se presentan la tabla 1 y 2 con ensayos realizados a la ceniza de cáscara de café por otras fuentes:

Tabla 1

Características físicas de la ceniza de cascarilla de café (CCC)

Descripción	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra de CCC total (gr)	66,04	64,04	62,04	
Peso de la muestra de CCC sobrante (gr)	29,16	27,16	25,16	
Peso de la muestra de CCC en el recipiente Le Chatelier (gr)	38,88	36,88	34,88	
Volumen del Le Chatelier (cm ³)	25,2	23,2	21,2	
Peso específico de masa (gr/cm ³)	1,54	1,59	1,65	1,59

Fuente: (Hurtado, 2023)

Tabla 2

Ensayos químicos realizados a la ceniza de cascarilla de café (CCC)

Muestra	Composición Química	Unidad	Resultados %
Ceniza de cascarilla de café (CCC)	Óxido de Calcio, CaO	%	47,652
	Óxido de Potasio, K ₂ O	%	18,725
	Óxido de Magnesio, MgO	%	9,737
	Óxido de Azufre, CaO	%	6,247
	Óxido de Silicio, SiO ₂	%	5,462
	Óxido de Fósforo, P ₂ O ₅	%	4,938
	Óxido de Hierro, Fe ₂ O ₃	%	3,136
	Óxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	%	2,314
	Óxido de Cloro, ClO ₂	%	0,935
	Óxido de Sodio, Na ₂ O	%	0,531
	Óxido de Titanio, TiO ₂	%	0,189
	Óxido de Cobre, CuO	%	0,134

Fuente: (Hurtado, 2023)

Métodos

La investigación realizada es de enfoque cuantitativo y alcance-descriptivo correlacional, ya que se determinó la resistencia a la compresión de los morteros para mampostería basado en la norma NTE INEN 2518. Para esta investigación se empleó cemento de uso general tipo GU, agregados finos, agua, y la ceniza de cascarilla de café.

Para la calcinación a la cáscara de café se empleó un horno con temperaturas constantes de 600 a 700°C durante una hora, luego se realizó la trituration y por último la granulometría de la ceniza, pasante el tamiz N°200 para obtener una finura de 75 µm.

Posteriormente se elaboraron los morteros a base de; dos tipos de agregados finos, agua, cemento y la sustitución parcial del cemento por la ceniza en los 5%, 10% y 15%, los ensayos realizados al agregado fino se demuestran a continuación.

Agregado fino del río Puca del cantón Olmedo:

Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos, NTE INEN 696:2011; realizado el proceso se obtuvo que el módulo de finura fue 1,96 y se encuentra en el rango establecido por la norma.

Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, NTE INEN 856:2010; dentro de este ensayo obtuvimos los siguientes resultados, la gravedad específica de la masa $2,5 \text{ g/cm}^3$, gravedad específica SSS $2,52 \text{ g/cm}^3$, la gravedad específica aparente $2,55 \text{ g/cm}^3$ y el porcentaje de absorción del agua 0,81%.

Determinación del contenido de humedad, NTE INEN 862:2011; realizado el ensayo el contenido de humedad fue 5,70%.

Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos; NTE INEN 858:2010; se determinaron los siguientes resultados: peso unitario suelto $1,35 \text{ g/cm}^3$ y peso unitario compactado $1,46 \text{ g/cm}^3$.

Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros; NTE INEN 866:2011; según la norma la aceptación de muestras de agregado fino en cuanto a impurezas orgánicas, es cuando produce el color máximo N° 3/11. Basado en lo anterior la muestra de este agregado obtuvo más contenido de impureza orgánica, según la placa orgánica de colores fue el N° 3/11.



Figura 1(a). Nivel de impureza orgánica de la muestra del río Puca Figura 2(a). Placa orgánica de colores

Agregado fino de banco de la parroquia Crucita:

Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos, NTE INEN 696:2011; realizado el proceso se obtuvo que el módulo de finura fue 0,92 y se encuentra en el rango establecido por la norma.

Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, NTE INEN 856:2010; dentro de este ensayo obtuvimos los siguientes resultados, la gravedad específica de la masa $2,4 \text{ g/cm}^3$, gravedad específica SSS $2,5 \text{ g/cm}^3$, la gravedad específica aparente $2,67 \text{ g/cm}^3$ y el porcentaje de absorción del agua 4,16%.

Determinación del contenido de humedad, NTE INEN 862:2011; realizado el ensayo el contenido de humedad fue 6,53%.

Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos; NTE INEN 858:2010; se determinaron los siguientes resultados: peso unitario suelto $1,36 \text{ g/cm}^3$ y peso unitario compactado $1,51 \text{ g/cm}^3$.

Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros; NTE INEN 866:2011; según la norma la aceptación de muestras de agregado fino en cuanto a impurezas orgánicas, es cuando se produce el color máximo N° 3/11. Basado en lo anterior la muestra de este agregado obtuvo menos contenido de impureza orgánica, según la placa orgánica de colores fue el N° 2/8.



Figura 3(b). Nivel de impureza orgánica de la muestra de banco Figura 4(b). Placa orgánica de colores

Resultados

El mortero realizado a base de la sustitución parcial del cemento con la ceniza de la cascarilla de café en los 5%,10% y 15%, fueron sometidos a cargas de compresión para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, las normas de diseño utilizadas para la elaboración de las

muestras del mortero fueron; NTE INEN 2518; 2010, NTE INEN 488, 2009. La resistencia mínima a cumplir en el mortero tipo S es de 12,4 MPa, a continuación, se detallan en las tablas las dosificaciones que fueron usadas en esta investigación.

Tabla 3

Dosificación de mortero con arena del río Puca del cantón de Olmedo con relación a/c=0,59

Material (gr)	Porcentajes a sustituir			
	0%	5%	10%	15%
Arena	2035	2035	2035	2035
Cemento	740	703	666	629
Agua	439	439	439	439
Ceniza cáscara de café (CCC)	-	37	74	111

Fuente: NTE INEN 488-2009.

La norma establece que para la elaboración de 9 especímenes la cantidad de agua equivale a 359 cm³, con el agregado fino del río Puca del cantón de Olmedo siendo este un material con un contenido de humedad de 5,70% y con una absorción de 0,81%, se le hizo un reajuste al agua quedando en 439 cm³.

Tabla 4

Dosificación de mortero con arena de banco de la parroquia de Crucita con relación a/c=0,60

Material (gr)	Porcentajes a sustituir			
	0%	5%	10%	15%
Arena	2035	2035	2035	2035
Cemento	740	703	666	629
Agua	459	459	459	459
Ceniza cáscara de café (CCC)	-	37	74	111

Fuente: NTE INEN 488-2009.

Para la dosificación de los 9 especímenes con la arena de banco de la parroquia de Crucita, se modificó la cantidad de agua que determina la norma quedando en 459 cm³, porque tuvo un contenido de humedad de 6,53%, y una absorción de 4,16%.

Análisis de los Resultados

A las dosificaciones dadas en la tabla 3 y 4, obtenidas de la NTE INEN 488-2009, se le realizaron modificaciones para obtener la mezcla patrón, se utilizaron moldes en forma cúbica de 50mm por cada arista, para su elaboración se dividen en dos capas, la primera a 25mm siendo hasta la mitad del molde, dando 8 golpes en la primer ronda y la siguiente de forma perpendicular a la anterior, la última capa se rellena todo el molde y se realiza el mismo proceso indicado, de tal forma que se cumplen con los 32 golpes mencionados en la norma, para finalizar con una espátula nivelamos la superficie de los cubos.

Después se dejó fraguar los especímenes durante 24 horas, cumplido este tiempo se desencofró y fueron ubicados con mucho cuidado en la piscina de curado que contenía agua potable, y permanecieron los 28 días para alcanzar su mayor resistencia según lo establecido en la NTE INEN 2518-2010.

En esta investigación, se realizaron diferentes edades de curado es decir a los 7, 14 y 28 días, para realizar el ensayo de resistencia a la compresión como lo establece la NTE INEN 488-2009, conociendo que el mortero a los 28 días alcanza el principio físico de endurecimiento y adherencia de la mezcla.

Tabla 5

Resistencia a la compresión con arena del río Puca del cantón de Olmedo

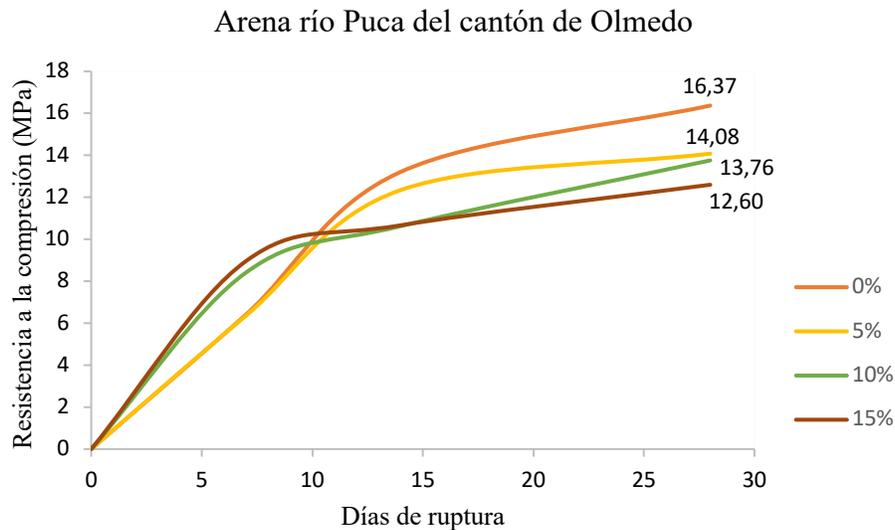
Días	Resistencia a la compresión en MPa			
	0%	5%	10%	15%
7	6,41	6,36	8,41	8,96
14	13,21	12,35	10,63	10,67
28	16,37	14,08	13,76	12,60

Fuente: Los autores.

La resistencia característica del mortero tipo S es de 12,4 MPa, al observar las muestras se puede determinar que todas cumplen con los porcentajes del 5%, 10% y 15%.

Gráfico 1

Resistencia de compresión del mortero analizado a diferentes edades de curado



Fuente: Los autores.

Análisis de los resultados de la arena del río Puca del cantón de Olmedo

Los morteros empleados en la investigación son de tipo S con resistencia de 12,4 MPa. En el gráfico 1, se puede observar la muestra patrón y las empleadas con sustitución de ceniza de cáscara de café en los porcentajes del 5%, 10% y 15%. El ensayo de resistencia a la compresión realizado a los 28 días de curado muestra los siguientes datos; el 0% que corresponde a la muestra patrón tiene una resistencia de 16,37 MPa que representa un incremento del 34% de lo establecido en la norma, con el 5% de sustitución la resistencia es de 14,08 MPa teniendo un aumento del 18% en relación a la norma, el 10% de sustitución con una resistencia de 13,76 MPa con un incremento del 17% de lo establecido en la norma, y por último el 15% de sustitución obtuvo una resistencia de 12,60 MPa presentando una mejora del 2%, siendo así que todas las sustituciones se mostraron por encima de la resistencia mínima según la NTE INEN 2518-2010.

El cemento utilizado en esta investigación es Holcim tipo GU, con un valor en el mercado nacional de 8 dólares americanos por un contenido de 50 kg, considerando estos datos, se puede establecer una relación de 6250 g por dólar. Según las dosificaciones de cemento mostradas en las tablas 3 y 4, se determinó que el precio del cemento por espécimen varía, para la muestra patrón el costo es de \$0,12, mientras que para las sustituciones del 5%, 10% y 15% se obtuvieron valores de \$0,11, \$0,11 y \$0,10, respectivamente. Los resultados presentados en la tabla 5 indican que, aunque todas las sustituciones muestran un aumento en la resistencia, el valor correspondiente al 15% está cercano a la resistencia mínima,

mientras que sus contrapartes del 5% y 10% presentan un crecimiento respecto al valor mínimo, haciéndolos opciones más viables para ese análisis. Dentro de la tabla 6 se exponen que la sustitución de 15% no alcanza la resistencia mínima, mientras tanto, con el 5% y 10% aún se supera este valor límite.

Por lo expuesto anteriormente, la sustitución del 15% es la más económica en comparación con la muestra patrón, aunque su uso en obras de gran escala e importancia podría no ser beneficioso, debido a la problemática que genera el no superar en todos los casos la resistencia mínima. En cambio, para las muestras correspondientes al 5% y 10%, el incremento en la resistencia y la reducción del precio podrían influir positivamente en obras de diverso alcance, aunque la disminución de \$0,01 pueda parecer insignificante a simple vista, al aumentar la cantidad de cemento utilizado, su relevancia se incrementa.

Tabla 6

Resistencia a la compresión con arena de banco de la parroquia Crucita

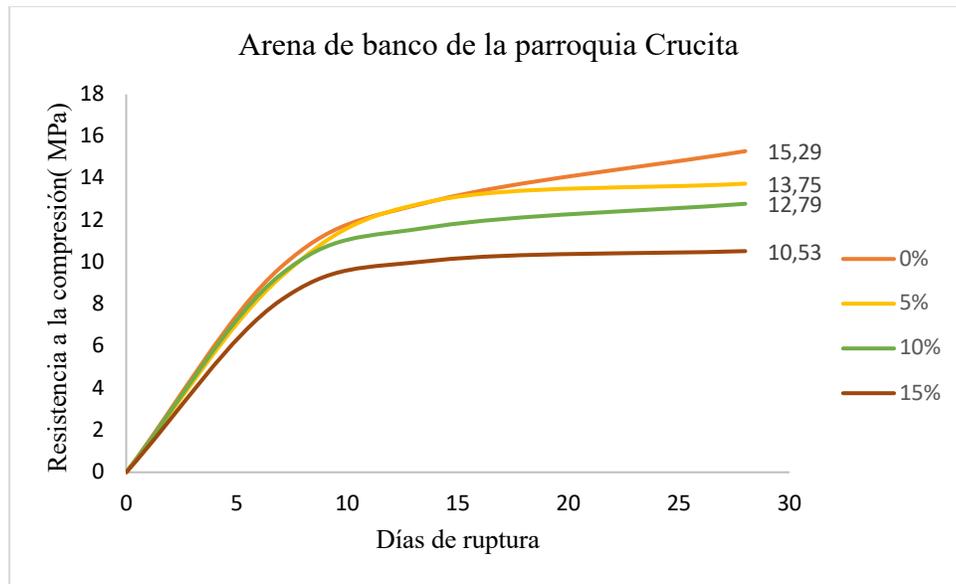
Días	Resistencia a la compresión en MPa			
	0%	5%	10%	15%
7	9,77	9,31	9,43	8,20
14	12,95	12,95	11,71	10,09
28	15,29	13,75	12,79	10,53

Fuente: Los autores.

En el análisis de los resultados con el 5% y 10% de sustitución cumplen con la resistencia mínima establecida en la norma, mientras el 15% no llega a la resistencia deseada del mortero tipo S.

Gráfico 2

Resistencia de compresión del mortero analizado a diferentes edades de curado



Fuente: Los autores.

Análisis de los resultados de la arena de banco de la parroquia Crucita

En el gráfico 2, se observa los resultados obtenidos de resistencia en el ensayo a compresión de la muestra patrón y las alternativas de sustitución al cemento, es visible que las sustituciones del 5% y 10% cumplen con la resistencia mínima a los 28 días determinada en la norma, mientras que la sustitución del 15% presenta valores por debajo del límite. Realizando una comparación con el valor mínimo, se obtuvo que, la muestra patrón posee un incremento del 35%, con el 5% de sustitución la resistencia fluctuó positivamente un 15%, para el 10% de sustitución hubo un aumento del 6% en la resistencia y el 15% de sustitución de manera contraria decae un 13%, siendo así las sustituciones de 5 y 10% son las únicas que cumplen con la resistencia mínima según la NTE INEN 2518-2010.

Discusión

La cascarilla de café es un residuo agrícola que no mantiene un uso comercial en la actualidad, es por ello que se está incursionando en el uso de nuevas alternativas para mitigar la contaminación del medio ambiente, es de conocimiento que una tonelada de clínker genera una tonelada dióxido de carbono (CO_2), en varias investigaciones realizadas se han implementado el uso de las cenizas de distintos subproductos agrícolas como adición y sustitución de los materiales, obteniendo como resultados la mejora de la resistencia y la reducción de costos de obras.

Para (Molocho y Rodriguez, 2020) determinaron que las adiciones de 5%, 10% de ceniza de café tuvieron una resistencia óptima. A medida que es una adición a los materiales, no se está reduciendo el uso del cemento que es la idea principal de las investigaciones, es decir, el utilizar desechos orgánicos ayudan a reducir la contaminación y el uso de recursos renovables, es por ello que en esta investigación se realiza la sustitución parcial del cemento, buscando alternativas que favorezcan al medio ambiente, y así mismo la reducción del cemento sin alterar las resistencias estipuladas en las normativas.

Díaz y Fernández (2019) en su investigación realizaron el uso de ceniza de cascarilla de café como adición del hormigón en los porcentajes del 1%, 2%, 4% y 8%, siendo el 1% y 2% los que mostraron una mayor resistencia a la comprensión, mientras que en el 4% y 8% tuvieron una reducción de resistencia frente a la muestra patrón. En la presente investigación se utilizó la ceniza de cascarilla de café, se realizó la sustitución parcial del cemento en el 5%, 10% y 15% en dos tipos de agregados finos, dándonos como resultado que la arena del río Puca del cantón Olmedo cumplen las resistencias mínimas estipuladas en la norma, es decir 12,4 MPa, mientras que con la arena de banco de la parroquia de Crucita solo con el 5% y 10% la resistencia cumple, y el 15% no llega a la resistencia mínima.

Ccana (2021) en su investigación utilizó la ceniza de madera del capulí y realizó la sustitución parcial del cemento en 5%, 10% y 15%, y demostró que la resistencia mejora, concluyendo que la ceniza de madera de capulí en las alternativas del 5% y 10% son aptas en la resistencia a compresión, teniendo resultados favorables en comparación de la compresión inicial. Dentro de la investigación se observó que tienen otro recurso para la ceniza, además de utilizar los mismos porcentajes, entonces se concluye que el porcentaje óptimo para la sustitución no debe superar el 15%, ya que esto generaría la disminución en la resistencia a la compresión.

Mediante el estudio realizado, se determina que de la ceniza de cascarilla de café es factible en la sustitución parcial del cemento que se emplea en la elaboración de morteros y hormigones, porque posee propiedades químicas como; óxido de calcio, óxido de sílice, óxido de hierro, mejorando así las propiedades físicas que ayudan a la resistencia. En esta investigación además de tomar en cuenta los porcentajes de sustitución, también se optó por emplear diferentes agregados finos, una del río Puca del cantón de Olmedo y la otra arena de banco de la parroquia de Crucita.

Conclusiones

Una vez realizado todo el proceso experimental, con la utilización de la ceniza de cáscara de café como sustituto parcial del cemento con dos diferentes tipos de agregados finos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los agregados finos utilizados en esta investigación, tanto la arena del río Puca del cantón de Olmedo, como la de banco procedente de Crucita cumplieron con los parámetros requeridos en las NTE INEN.
- Al finalizar esta investigación, la resistencia obtenida a los 28 días de curado del mortero de estudio tipo S, con las sustituciones del 5, 10 y 15%, con la arena del río de Olmedo fue significativa superando la resistencia mínima especificada en la NTE INEN 2518, además ningún porcentaje de sustitución superó a la muestra patrón.
- Los morteros con la arena de banco empleando la misma sustitución, lograron su resistencia mínima según la norma, exceptuando el 15%, ya que con este porcentaje la resistencia no fue la deseada.
- Para concluir, el uso de la arena del río Puca se comportó mejor para la elaboración del mortero, dando una mejor resistencia, porque tuvo menos absorción de agua en comparación a la arena de banco.
- El impacto ambiental que generan las cementeras se puede disminuir, incursionando en el uso de residuos orgánicos que en la actualidad no tienen uso comercial, ya que contienen propiedades que mejoran las resistencias de los materiales, donde podemos adicionar o sustituir parcialmente el cemento.

Referencias bibliográficas

- Ccana, E. (2021). Influencia de la ceniza de madera del capulí sobre las propiedades físico mecánicas para un diseño de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Cusco 2021. *Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/77397>
- Coffee Media*. (14 de Enero de 2019). <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2019/01/14/produccion-de-cafe-en-manabi-ecuador-sigue-en-crecimiento/>
- Díaz , M., y Fernández , J. (2019). Influencia de la adición de ceniza de cascarilla de café en la trabajabilidad y resistencia a compresión del concreto. *Repositorio Institucional Universidad Nacional de Jaén*. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/237>
- Energía Estratégica*. (1 de Abril de 2024). <https://www.energiaestrategica.com/por-la-sostenibilidad-en-la-industria-del-cemento-ecuador-traza-su-hoja-de-ruta-hacia-la-descarbonizacion/>
- Foro Económico Mundial. (14 de noviembre de 2023). [es.weforum.org. https://es.weforum.org/agenda/2023/11/este-nuevo-material-podria-reducir-en-40-las-emisiones-de-co2-del-cemento-de-aqui-a-2030/](https://es.weforum.org/agenda/2023/11/este-nuevo-material-podria-reducir-en-40-las-emisiones-de-co2-del-cemento-de-aqui-a-2030/)
- Hurtado, E. (2023). Influencia de la ceniza de cascará de café en la resistencia y durabilidad del concreto en la ciudad de Pimentel. *Repositorio de Tesis Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo USAT*. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/7016>

- Iparraguirre, R. A. (2021). Influencia de la adición de la ceniza de la cascarilla de café en las propiedades del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Oxapampa – 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84321>
- Khan, K., Fahad Ullah, M., Shahzada, K., Nasir Amin, M., Bibi, T., Wahab, N., y Aljaafari, A. (2020). Effective use of micro-silica extracted from rice husk ash for the production of high-performance and sustainable cement mortar. *Construction and Building Materials*, 258. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820315944#:~:text=According%20to%20their%20findings%2C%20use,and%20those%20containing%2040%25%20metakaolin.>
- Matallana, R. (2019). *El Concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías*. Compañía Colombiana de Cerámica. <https://doi.org/978-958-57497-3-3>
- Mendieta, R., y Salas, P. (2022). Ceniza de cascarilla de café como adición para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural. *Repositorio Universidad Ricardo Palma*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5790>
- Moloch, J., y Rodríguez, D. (2020). Adición de la cascarilla de café y sus cenizas para mejorar la resistencia a la compresión $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$, en las viviendas económicas de Moyobamba. *Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/55350>
- NTE INEN 2518. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Morteros para unidades de mamposterías*.
- NTE INEN 488. (2009). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista*.
- NTE INEN 696. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
- NTE INEN 856. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*.
- NTE INEN 862. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*.
- NTE INEN 866. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Árido fino para hormigón. Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros*.
- Palacios, L. (2021). Evaluación de resistencia a compresión del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de coronta y nuez, Vilcashuamán, Ayacucho 2021. *Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66288>
- Romero, A. (2020). Determinación del índice de actividad puzolánica de materiales cementantes suplementarios disponibles en el mercado colombiano. *Repositorio*

Weninger, L. A. (2020). Influencia de la adición de ceniza de cascarilla de café en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. *Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo*, 8. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74492>

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.