

La ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento portland tipo I y su efecto en la resistencia a compresión

Walnut shell ash as a partial substitute for portland cement type I and its effect on compressive strength

Recibido: diciembre 31 de 2022 | Revisado: mayo 15 de 2023 | Aceptado: junio 01 de 2023

DEMETRIO ASECIO FLORES RAMOS¹

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo I y su efecto en la resistencia a compresión. Se consideraron cenizas de cáscara de nuez en las proporciones de 0 %, 10 % y 15 % en relación del peso del cemento. Luego se elaboraron cubos de 50 mm de lado que fueron curados durante 7, 14 y 28 días para medir su resistencia a compresión de acuerdo a la norma NTP 334.051:2022, tiempo de fraguado inicial acorde a la NTP 334.065. Como resultado se obtuvo que la dosificación para la elaboración de nueve cubos de morteros fue de 359 cm³ de agua y 2035 g de arena para cada uno de los grupos donde se procedió a variar el contenido de ceniza en 0 g, 67.27 g y 69.52 g, además de cemento en 740 g, 672.73 g y 643.48 g; en cuanto a la resistencia a compresión se encontró que a los 28 días para el mortero patrón fue de 290.28 kgf/cm², donde se reemplazó 10 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 354.18 kgf/cm² y para 15 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 161.11 kgf/cm²; respecto al tiempo de fraguado inicial se encontró que para el mortero patrón fue de 152.33 min, donde se empleó 10 % de ceniza fue de 174.67 min y para 15 % de 189 min. Se concluye que el 10 % de la ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo I resulta ser un elemento idóneo pues se logra incrementar la resistencia a compresión y se retarda el tiempo de fraguado del mortero.

Palabras clave: ceniza de cáscara de nuez, resistencia a compresión, cemento Portland tipo I

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate nutshell ash as a partial substitute for Portland cement type I and its effect on compressive strength. For this purpose, walnut shell ash was considered in proportions of 0 %, 10 % and 15 % in relation to the weight of cement, proceeding to elaborate 50 mm of side which were cured for 7, 14 and 28 days to measure their compressive strength according to the specifications of NTP 334.051:2022. As results, it was found that the dosage for the elaboration of 9 cubes of mortars was 359 cm³ of water and 2035 g of sand for each of the groups where the ash content was varied by 0 g, 67.27 g and 69.52 g, in addition to cement in 740 g, 672.73 g and 643.48 g; as for the compressive strength it was found that at 28 days for the standard mortar it was 290.28 kgf/cm², where 10 % of walnut shell ash was replaced it was 354.18 kgf/cm² and for

¹ Universidad Peruana Unión, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
asescio1995123@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2023.v28n35.07>

15 % of walnut shell ash it was 161.11 kgf/cm²; regarding the initial setting time it was found that for the standard mortar it was 152.33 min, where 10 % of ash was used it was 174.67 mm and for 15 % it was 189 min. It can be concluded that 10 % of walnut shell ash as a partial substitute for Portland cement is a suitable element as it increases the compressive strength and delays the setting time of the mortar.

Keywords: nutshell ash, compressive strength, Portland cement type I

Introducción

El cemento Portland, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2020), es un material pulverizado que al añadirle agua es capaz de formar una pasta aglomerante con la capacidad de endurecer.

En tanto, Metha y Monteiro (2008) indican que el mortero es aquella mezcla de arena, cemento y agua que no posee agregado grueso. Asimismo, se tiene que la resistencia a compresión de acuerdo con Kosmatka et al. (2004) es la resistencia máxima capaz de soportar una especie de concreto, mortero o grout cuando es cargada axialmente a compresión con una máquina de ensayo a una velocidad específica que puede expresarse en kg/cm² o MPa.

Se conoce que para obtener un concreto de alta resistencia, un componente clave y comercialmente comprobado es la adición de micro sílice, como fue adoptado por la ASTM y el ACI para referirse al humo de sílice condensado donde las capacidades de la micro sílice están enmarcadas en conformar súper ligantes al incorporarse con el Ca (OH)₂ que es el resultado químico de la reacción del cemento y el agua (Arévalo, 2001). En consecuencia, el material alternativo debe contar por lo menos con este componente.

Kamal et al. (2021) indican que a razón de que el concreto es uno de los materiales que se emplea en mayor cuantía hasta alcanzar mil millones de toneladas anuales, se requiere excesivos materiales como los agregados que trae consigo la disminución de los recursos naturales y la fabricación de cemento cuyo impacto ambiental es negativo como la destrucción de ecosistemas y la contaminación del agua, siendo necesario la producción de concretos ecológicos.

En la actualidad, es muy importante que las construcciones cumplan con las necesidades de la población y también se deben comprometer con el medio ambiente. De esta manera, las nuevas construcciones deben buscar alternativas de agregados y aditivos que posibiliten mejorar las características del concreto para lograr un rendimiento óptimo en las construcciones. De alguna manera también se intenta reducir los costos y obtener un mayor beneficio económico por lo que se deben adecuar nuevas ideas y estudiarlas para conocer las características mecánicas y físicas del concreto con la implementación de aditivos que cumplan con los mínimos requisitos que permitan alcanzar ello, según lo expuesto por Molocho & Rodríguez, 2020.

De la Cruz et al. (2015) resaltan que la cáscara de nuez aporta beneficios a la

resistencia del concreto al igual que en lo económico, pues el uso de la cáscara de nuez no incurriría en un costo elevado al ser un residuo; además de que el coste de su procesamiento y uso en el concreto como aditivo es competitivo con un aditivo comercial de similar característica como la micro sílice.

Flores (2022) evaluó 0.5 %, 1 % y 1.5 % de cenizas de cáscara de nuez para medir los cambios en la resistencia a compresión del concreto. Obtuvo como resultado que con 0.5 % y 1 % de cenizas de cáscara de nuez se logra a los 28 días alcanzar una resistencia mayor de 1.54 % y 6.58 % en relación con la muestra padrón; es decir, concreto en donde no fue empleado cenizas de cáscaras de nuez.

Molocho y Rodríguez (2020) lograron encontrar que con 5 %, 10 % y 15 % de ceniza de cascarilla de café en relación del peso del cemento, solo se obtiene una resistencia favorable con 5 %, además de mantener la trabajabilidad.

Palacios (2021) evaluó la resistencia a compresión del concreto empleando 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.

Por tanto, una de las opciones para reemplazar, parcialmente, el cemento

es el uso de cenizas de cáscara de nuez, con lo cual se estaría en buena medida contribuyendo al uso de recursos naturales no contaminantes en la construcción. Cabe mencionar que, en el Perú se tiene una producción nacional anual de cáscara de nueces de 312 T. Destacan los departamentos de Ancash, Amazonas, Huancavelica, Apurímac y Ayacucho como principales productores en la industria usado, principalmente, para consumo humano, donde las cáscaras son consideradas un desecho (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).

Como hipótesis general de la investigación se tiene que la ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo I asegura la resistencia a compresión del espécimen, lo cual fue comprobado con los diferentes ensayos en laboratorio realizados.

Método

Materiales

Se empleó cemento Portland tipo I, cuyos requerimientos se encuentran en conformidad de la NTP 334.009 (INACAL, 2022) tal como se detalla en la Tabla 1 considerando tanto química y físicamente al óxido de magnesio, trióxido de azufre, la pérdida de ignición o al fuego, el peso específico, la finura, la expansión en autoclave, el tiempo de fraguado Vicat y el contenido de aire:

Tabla 1

Requerimientos químicos y físicos del cemento Portland tipo I

	Requerimientos	Contenido
Requerimientos químicos	Óxido de magnesio (%)	2 - 4
	Trióxido de azufre (%)	1.8 - 2.5
	Pérdida por ignición o al fuego (%)	0.1 - 2.5
	Residuo insoluble (%)	< 1.5
Requerimientos físicos	Peso específico (g/cm ³)	3.10 - 3.15
	Finura (cm ² /g)	3000 - 3700
	Expansión en autoclave (%)	0.0 - 0.2
	Tiempo de fraguado Vicat inicial (min)	140 - 190
	Contenido de aire del mortero (%)	4 - 8

Ceniza de cáscara de nuez

En cuanto a la ceniza de cáscara de nuez, esta fue caracterizada, previamente, tal como se observa en la Tabla 2 donde

se evidencia un total de 23 elementos que presentan una mayor concentración de oxígeno (41.4 %) seguido de potasio con 24.2 %.

Tabla 2

Elementos de la ceniza de cáscara de nuez

Elementos	Concentración (%)	Elementos	Concentración (%)
O	41.4	Cu	0.0496
K	24.2	Rb	0.0236
Mg	3.03	Ni	0.0203
P	0.882	Zn	0.0139
Si	0.81	Co	0.0128
Cl	0.542	Ba	0.0089
S	0.272	Zr	0.0013
Fe	0.199	Rh	0.0012
Sr	0.0969	Cd	0.0011
Br	0.0908	Mo	0.001
Mn	0.0606	Sn	0.0005
		Ag	0.0004

Arena gradada

La arena empleada para la elaboración de los cubos de morteros para la medición de la resistencia a compresión tanto a los 7, 14 y 28 días se encontró de

acuerdo a las especificaciones técnicas de la NTP 334.051:2022 y NTP 334.046 (INACAL, 2022) cuyos porcentajes acumulados retenidos se hallaron en concordancia con la siguiente tabla:

Tabla 3

Gradación de la arena

Tamiz	Porcentaje acumulado retenido (%)
149 μm	98 \pm 2
297 μm	75 \pm 2
425 μm	40 \pm 2
595 μm	2 \pm 2
1.19 μm	0

En primera instancia, se analizó la cáscara de nuez en forma de harina y ceniza con la finalidad de obtener su composición química sobre todo de porcentaje de sílice para posteriormente optar el más adecuado. Resultó más favorable la ceniza de cáscara de nuez por contar con 0.81 % de sílice con lo cual se aseguraría la resistencia a compresión.

Posteriormente, se procedió a la elaboración de los morteros en base a cemento Portland tipo I y según lo establecido en la NTP 334.051, en base a una proporción de una parte de cemento y 2.75 partes de arena, con una relación de agua-cemento de 0.485 tanto para la muestra patrón y las muestras con ceniza de cáscara de nuez en porcentajes de 10% y 15%, lográndose obtener un total de 27 especímenes cúbicos de 50 milímetros de lado, que luego fueron compactados en dos capas por apisonado, para luego ser curados donde previamente permanecieron un día en el molde y así ser sumergidos en agua hasta la prueba de rotura a edades de 7, 14 y 28 días.

Otro aspecto importante considerado fue la medición del tiempo de fraguado, para lo cual se siguió lo especificado en la NTP 334.065, con la finalidad de evaluar si las cenizas de cáscaras de nuez repercuten de alguna manera en esta propiedad.

Los resultados fueron analizados con la estadística descriptiva a partir de tablas donde se consideró el promedio aritmético, la desviación estándar y la variación porcentual a partir del grupo de control, además se emplearon gráficos de dispersión y de barras, esto con el uso del programa Microsoft Excel; posteriormente se optó por el análisis estadístico inferencial donde se usó el programa SPSS, para la ejecución de la prueba de normalidad, prueba paramétrica ANOVA de un factor y la comparación de los grupos, donde el nivel de confiabilidad fue de 95 % aceptando un error de hasta 5 %.

Resultados

Dosificación de la mezcla

A continuación, se tiene la Tabla 4 donde se muestra la dosificación (cemento, ceniza de cáscara de nuez, área y agua) para la elaboración de morteros de cemento sin y con sustitución de ceniza de cáscara de nuez en 10 % y 15 % en relación al peso del cemento. Cabe mencionar que tales dosificaciones fueron para nueve especímenes por grupo (patrón, mortero con 10 % de ceniza de cáscara de nuez y 15 % correspondientemente).

Tabla 4

Dosificación de los morteros

	Patrón	Sustitución por ceniza de cáscara de nuez	
		10%	15%
Cemento (g)	740	672.73	643.48
Ceniza (g)	0	67.27	69.52
Arena (g)	2035	2035	2035
Agua (cm ³)	359	359	359

Ensayos de resistencia a compresión

En cuanto a la resistencia a compresión a continuación se muestra los resultados obtenidos a los siete días, tanto el promedio, la desviación estándar y la

variación con relación al concreto patrón, resaltando que para el mortero patrón fue de 220.40 kgf/cm², donde se utilizó 10 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 189.12 kgf/cm² y con 15 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 257.51 kgf/cm².

Tabla 5

Resistencia a compresión a los siete días

Ceniza de cáscara de nuez (%)	Resistencia a compresión a los 7 días (kgf/cm ²)	Resistencia promedio a los 7 días (kgf/cm ²)	Desviación estándar a los 7 días (kgf/cm ²)	Variación a los 7 días (%)
0	221.89			
0	222.30	220.40	2.95	0.00
0	217.00			
10	173.76			
10	203.12	189.12	14.73	-14.19
10	190.48			
15	244.32			
15	268.39	257.51	12.20	16.84
15	259.82			

Del mismo modo, se tiene los resultados obtenidos a los 14 días, tanto el promedio, la desviación estándar y la variación en relación al concreto patrón, resaltando que para el mortero patrón fue

de 231.68 kgf/cm², donde se utilizó 10 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 288.64 kgf/cm² y con 15 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 189.05 kgf/cm².

Tabla 6

Resistencia a compresión a los 14 días

Ceniza de cáscara de nuez (%)	Resistencia a compresión a los 14 días (kgf/cm ²)	Resistencia promedio a los 14 días (kgf/cm ²)	Desviación estándar a los 14 días (kgf/cm ²)	Variación a los 14 días (%)
0	231.68			
0	225.97	231.68	5.71	0.00
0	237.39			
10	289.59			
10	287.96	288.64	0.85	24.59
10	288.37			
15	189.66			
15	189.05	189.05	0.61	-18.40
15	188.44			

Por último, se tiene los resultados obtenidos a los 28 días, tanto el promedio, la desviación estándar y la variación en relación al concreto patrón, resaltando que para el mortero patrón fue de 290.28

kgf/cm², donde se utilizó 10 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 354.18 kgf/cm² y con 15 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 161.11 kgf/cm².

Tabla 7

Resistencia a compresión a los 28 días

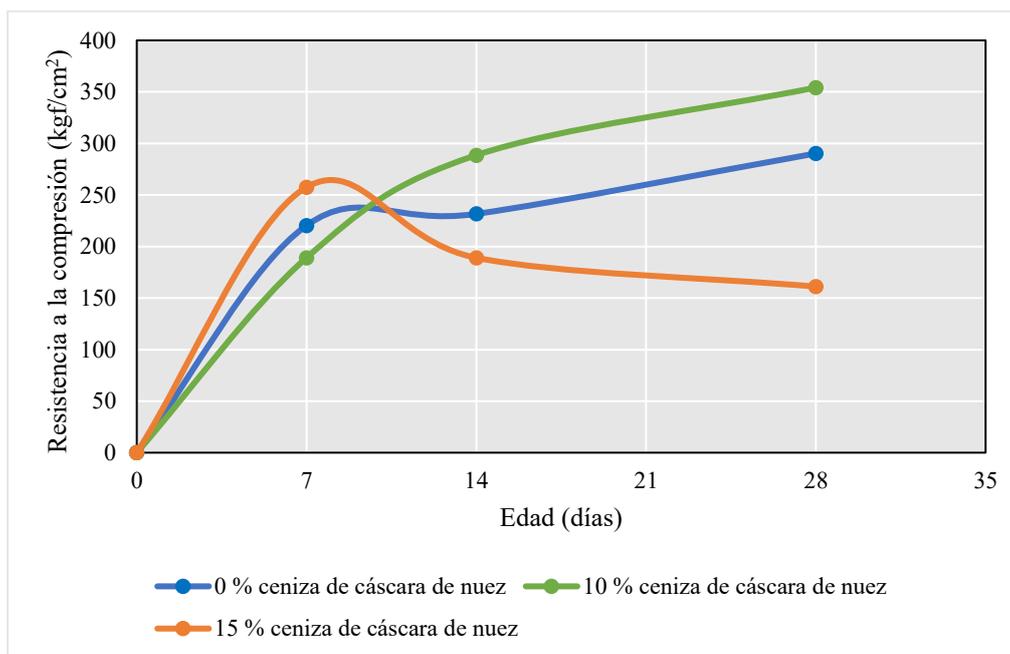
Ceniza de cáscara de nuez (%)	Resistencia a compresión a los 28 días (kgf/cm ²)	Resistencia promedio a los 28 días (kgf/cm ²)	Desviación estándar a los 28 días (kgf/cm ²)	Variación a los 28 días (%)
0	285.52			
0	307.95	290.28	15.84	0.00
0	277.36			
10	328.34			
10	383.41	354.18	27.69	22.01
10	350.78			
15	165.60			
15	161.11	161.11	4.49	-44.50
15	156.63			

A fin de mostrar el comportamiento de los morteros evaluados, a continuación, se tiene la donde se evidencia que la resistencia a compresión del mortero

en el cual se empleó 10 % de ceniza de cáscara de nuez fue aquel de mayor valor a los 14 y 28 días.

Figura 1

Comparación de la resistencia a compresión de los morteros



Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es una de las propiedades importantes en el control de calidad del concreto. En consecuencia, los resultados, el promedio y la desviación

estándar que se muestran a continuación para el mortero patrón resultaron de 152.33 min y cuando se empleó 10 % y 15 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 174.67 min y 189 min, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 8

Tiempo de fraguado

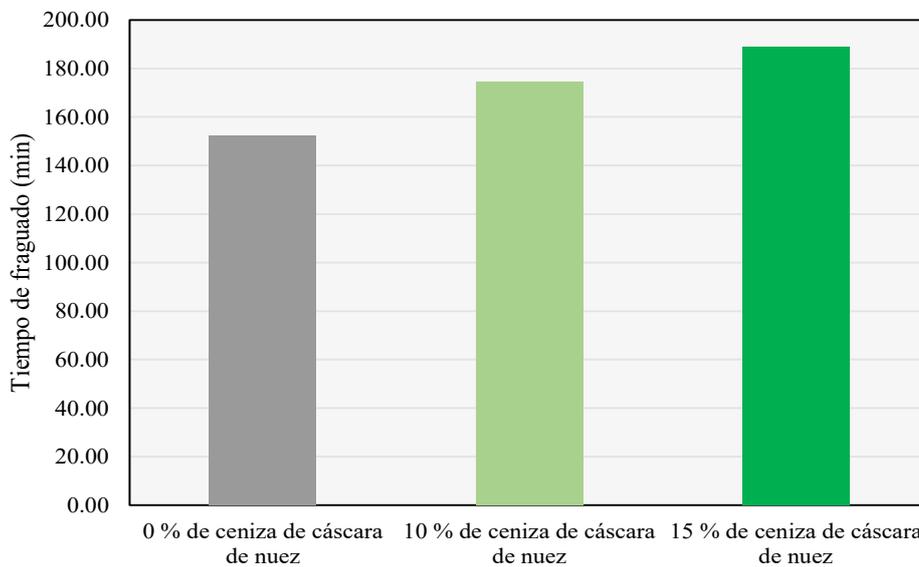
Ceniza de cáscara de nuez (%)	Tiempo de fraguado inicial (min)	Promedio (min)	Desviación estándar (min)	Variación (%)
0	152			
0	155	152.33	2.52	0.00
0	150			
10	175			
10	179	174.67	4.51	79.18
10	170			
15	190			
15	185	189.00	3.61	43.27
15	192			

En concordancia con la tabla anterior se evidencia que el empleo de las cenizas de cáscara de nuez trae consigo

el incremento del tiempo de fragua del mortero en comparación de lo encontrado para la mezcla patrón.

Figura 2

Comparación del tiempo de fraguado inicial en los morteros



Contrastación estadística de hipótesis

Con la finalidad de determinar si los cambios encontrados fueron significativos o no, se realizó el análisis

estadístico inferencial tal como se muestra a continuación, en cuanto a la prueba de normalidad (Tabla 9), la prueba ANOVA de un factor (Tabla 10) y la comparación de grupos según la prueba pos hoc de

Tukey (Tabla 11) para la resistencia a compresión y el tiempo de fragua inicial.

compresión a los 7, 14, 28 días y el tiempo de fragua inicial, donde de acuerdo a la significancia obtenida representan una distribución normal de los datos.

A continuación, se tiene la prueba de normalidad para la resistencia a

Tabla 9

Prueba de normalidad

	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión a los 7 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	0.81	3	0.13
	10 % de ceniza de cáscara de nuez	0.99	3	0.85
	15 % de ceniza de cáscara de nuez	0.97	3	0.69
Resistencia a la compresión a los 14 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	1.00	3	1.00
	10 % de ceniza de cáscara de nuez	0.92	3	0.47
	15 % de ceniza de cáscara de nuez	1.00	3	1.00
Resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	0.93	3	0.50
	10 % de ceniza de cáscara de nuez	0.99	3	0.80
	15 % de ceniza de cáscara de nuez	1.00	3	1.00
Tiempo de fraguado inicial	0 % de ceniza de cáscara de nuez	0.99	3	0.78
	10 % de ceniza de cáscara de nuez	1.00	3	0.88
	15 % de ceniza de cáscara de nuez	0.94	3	0.54

En cuanto a la prueba ANOVA de un factor, se tiene que los cambios presentados en la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 fueron significativos

estadísticamente, al igual que el tiempo de fraguado inicial, tal como se detalla en la Tabla 10, puesto que en todos los casos la significancia fue de 0.00.

Tabla 10
Prueba ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Resistencia a la compresión a los 7 días (kgf/cm ²)	Entre grupos	7032.82	2	3516.41	28.17	0.00
	Dentro de grupos	748.86	6	124.81		
	Total	7781.68	8			
Resistencia a la compresión a los 14 días (kgf/cm ²)	Entre grupos	14979.93	2	7489.96	666.86	0.00
	Dentro de grupos	67.39	6	11.23		
	Total	15047.32	8			
Resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm ²)	Entre grupos	58039.83	2	29019.91	83.88	0.00
	Dentro de grupos	2075.70	6	345.95		
	Total	60115.53	8			
Tiempo de fraguado inicial	Entre grupos	2048.67	2	1024.33	77.47	0.00
	Dentro de grupos	79.33	6	13.22		
	Total	2128.00	8			

En cuanto a la comparación de los grupos, en la Tabla 11 se muestra que de comparar los resultados de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, además del

tiempo de fraguado inicial con el mortero patrón donde no se empleó cenizas de cáscara de nuez fueron significativos con una significancia menor de 5 %.

Tabla 11
Comparación de grupos según la prueba pos hoc de Tukey

Variable dependiente			Diferencia de medias	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Resistencia a la compresión a los 7 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	10 % de ceniza de cáscara de nuez	31.28*	9.12	0.03	3.29	59.26
		15 % de ceniza de cáscara de nuez	-37.11*	9.12	0.02	-65.10	-9.13
Resistencia a la compresión a los 14 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	10 % de ceniza de cáscara de nuez	-56.96*	2.74	0.00	-65.36	-48.56
		15 % de ceniza de cáscara de nuez	42.63*	2.74	0.00	34.23	51.03
Resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm ²)	0 % de ceniza de cáscara de nuez	10 % de ceniza de cáscara de nuez	-63.90*	15.19	0.01	-110.50	-17.30
		15 % de ceniza de cáscara de nuez	129.16*	15.19	0.00	82.57	175.76
Tiempo de fraguado inicial	0 % de adición de ceniza de cáscara de nuez	10 % de ceniza de cáscara de nuez	-22.33*	2.97	0.00	-31.44	-13.22
		15 % de ceniza de cáscara de nuez	-36.67*	2.97	0.00	-45.78	-27.56

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Discusión

En primera instancia, se realizó la caracterización de la ceniza de cáscara de nuez cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 2. Destaca la presencia de magnesio en 3.03 % al igual que el cemento Portland tipo I como se detalla en la Tabla 1 que la concentración está entre 2 a 4 %, lo cual daría a la ceniza de cáscara de nuez el efecto cementante.

Respecto a los resultados de la resistencia a compresión, en la Tabla 5 se tiene que a los siete días, la resistencia promedio del mortero con 0 % de ceniza de cáscara de nuez resultó de 220.40 kgf/cm², mientras que con 10 % y 15 % de ceniza de cáscara de nuez arrojó 189.12 kgf/cm² y 257.51 kgf/cm², siendo estos últimos -14.19 % y 16.84 % de lo obtenido en el mortero patrón.

Del mismo modo, en la Tabla 6 se tiene que a los 14 días, la resistencia promedio del mortero con 0 % de ceniza de cáscara de nuez fue de 231.68 kgf/cm², mientras que con 10 % y 15 % de ceniza de cáscara de nuez resultó 288.64 kgf/cm² y 189.05 kgf/cm², siendo estos últimos 24.59 % y -18.40 % de lo obtenido en el mortero patrón. Para los 28 días, se halló, de acuerdo a la Tabla 7, una resistencia promedio del mortero con 0 % de ceniza de cáscara de nuez de 290.28 kgf/cm²; mientras que con 10 % y 15 % de ceniza de cáscara de nuez se obtuvo 354.18 kgf/cm² y 161.11 kgf/cm², siendo estos últimos 22.01 % y -44.50 % lo obtenido en el mortero patrón.

De acuerdo al análisis estadístico inferencial se encontró tal como se consigna en la Tabla 10 que la ceniza de cáscara de nuez genera cambios

significativos en la resistencia a los 7, 14 y 28 días del mortero con una significancia menor a lo esperado de 0.05. Asimismo, tal como se detalla en la Tabla 11 referente a la comparación de grupos se tiene que el incremento con 10 % de ceniza de cáscara de nuez también es significativo, estadísticamente. Se muestra así una dosificación óptima, pues a diferencia del mortero con 15 % de ceniza de cáscara de nuez donde también el cambio fue significativo este resultó negativo.

Al encontrar resultados favorables en la resistencia a compresión con el empleo de las cenizas de cáscara de nuez se concuerda con lo mencionado por Huaquisto y Belizario (2018) quienes mencionan que los efectos favorables se notan al emplear valores moderados de ceniza, pues al considerar 15 % el efecto no es esperado. A nivel internacional, como la investigación de De la Cruz et al. (2015) también es coherente con lo encontrado pues hallaron que la ceniza de cáscara de nuez aporta beneficios a la resistencia a compresión. En las investigaciones nacionales se concuerda también con Flores (2022) que tan solo optó por dosificaciones de 0.5 %, 1 % y 1.5 % de cenizas de cáscara de nuez para medir los cambios en la resistencia a compresión del concreto y obtuvieron como resultado que con 0.5 % y 1 % de cenizas de cáscara de nuez se logra a los 28 días alcanzar una resistencia mayor de 1.54 % y 6.58 % en relación al concreto donde no se emplee cenizas de cáscaras de nuez. Lo mismo sucede en la investigación de Molocho y Rodríguez (2020) quienes denotaron que la resistencia favorable fue con 5 % de ceniza de cáscara de nuez, lo cual se debería a que los ensayos se enfocaron al concreto mas no al mortero. Por último, se tiene a Palacios (2021)

quien también encontró resultados favorables en la resistencia a compresión con el empleo de 0.30, 0.60 y 0.90 % de ceniza de cáscara de nuez.

En cuanto al tiempo de fraguado inicial, en la Tabla 8 se detallan los resultados, donde para el mortero con 0 % de ceniza de cáscara de nuez fue 152.33 min, con 10 % y 15 % de cenizas de cáscara de nuez resultó en 174.67 min y 189 min lo que representa 79.18 % y 43.27 % más en relación a lo obtenido para la muestra patrón.

Estadísticamente se encontró según la Tabla 10 y Tabla 11 que los incrementos del tiempo de fraguado inicial fueron significativos, estadísticamente, con una significancia de 0.00 (menor a 0.05) tanto para la dosificación de 10 % y 15 % de ceniza de cáscara de nuez.

Al demostrarse que el tiempo de fraguado inicial del mortero se incrementa, se resalta lo mencionado por Rivera (2007) quien menciona que lo menos esperado en los cementos es la reacción violenta con el agua pues se da un endurecimiento a muy corto plazo, imposibilitando el transporte y colocado de las mezclas de concreto o mortero.

Consecuentemente, siguiendo lo mencionado por Rivera (2007) se puede inferir que, al conservar el calor de hidratación por acción de las cenizas de cáscaras de nuez, resulta ventajoso porque impediría el congelamiento del agua y la posterior generación de fisuras o grietas sobre todo en losas.

Otro aspecto resaltante debido a los resultados favorables respecto al tiempo de fraguado es tal como menciona

Sánchez (2000) pues el hecho de retardar el tiempo de fraguado del concreto es beneficioso en estructuras muy esbeltas (columnas largas) o al momento de lanzar el concreto.

Como parte final se resalta lo especificado por Huaquisto y Belizario (2018) que con el uso de cenizas se puede mitigar los efectos que ocasionan las plantas de procesamiento de cemento y por ende disminuir la contaminación ambiental.

Conclusiones

El 10 % de la ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo resulta ser un elemento idóneo pues se logra incrementar la resistencia a compresión y se retarda el tiempo de fragua del mortero, lo cual se daría por el contenido de Magnesio que presenta.

La resistencia a compresión del mortero con 10 % de ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo I a los siete días fue de 189.12 kgf/cm² resultando ser -14.19 % en comparación del mortero patrón o convencional. Mientras que, a los 14 días se obtuvo 288.64 kgf/cm² siendo 24.59 % más del mortero patrón y a los 28 días fue de 354.18 kg/cm² representando un 22.01 % (+ 63.90 kgf/cm²) del mortero patrón lo cual también resultó ser estadísticamente significativo (nivel de significancia de 0.00).

En cuanto al tiempo de fraguado inicial, se tiene que tiende a incrementar pues para el mortero patrón se encontró 152.33 min, para el mortero con 10 % de ceniza de cáscara de nuez es de 174.67

min y con 15 % es de 189.00 min, donde se resalta que al emplear 10 % de ceniza de cáscara de nuez resulta ser 79.18 % más del patrón siendo 22.33 min de diferencia.

Recomendaciones

Previo al empleo de las cenizas de cáscara de nuez es recomendable que estas se encuentren almacenadas en zonas carentes de humedad pues podría afectar el contenido de agua esperado en la mezcla de mortero o concreto.

A futuras investigaciones se recomienda realizar el análisis para emplear la ceniza de cáscara de nuez en proporciones menores a 10 % pues se lograría incrementar en mayor cuantía la resistencia a compresión.

Es dable recomendar el empleo de la ceniza de cáscara de nuez en mezclas de concreto, con la finalidad de analizar su efectividad cuando se encuentre en contacto con los agregados gruesos, además de profundizar en la medición de las demás propiedades

como asentamiento, contenido de aire y exudación.

Al incrementarse la resistencia del mortero con el empleo de ceniza de cáscara se recomienda su empleo en sistemas de revoque como las placas de Drywall, pues se aseguraría un mejor comportamiento.

Al haberse denotado que se incrementa el tiempo de fraguado inicial de los morteros con ceniza de cáscara de nuez, se recomienda su empleo en concretos premezclados pues con ello se facilita la manejabilidad y su transporte adecuado.

Otro aspecto importante, debido al incremento del tiempo de fraguado es que se podría emplear las cenizas de cáscara de nuez de zonas frías puesto que se conserva el calor de hidratación sobre todo en losas de pavimento rígido o losas en viviendas evitándose el congelamiento del agua en los vacíos.

Asimismo, se recomienda el estudio de las cenizas de cáscara de nuez como aditivo retardante de fraguado.

Referencias

- Arévalo, L. (2001). *Influencia de la microsílíce en el concreto* [Universidad Nacional de Ingeniería]. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_d59f9d77df29c05aff5198ee071ef1a9
- De la Cruz, F., Sáenz, A., & Cortés, F. (2015). Concreto ligero utilizando cáscara de nuez. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 9, 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193948443004.pdf>
- Flores, P. (2022). *Adición de cenizas de cáscara de nuez para incrementar la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm², Puno - Perú 2022* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94596>

- Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Journal of High Andean Research*, 20, 225–234. <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/issue/archive>
- INACAL. (2022). *Normas Técnicas Peruanas*. Instituto Nacional de Calidad. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Kamal, I., Ali, A., & Far Sherwani, A. (2021). Optimization and modeling the impact of a green cementless binder and biogenic nanosilica on cement setting time. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2649–2655. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.595>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. In *Journal of Experimental Botany* (Primera, Vol. 62, Issue 8). Portland Cement Association.
- Metha, K., & Monteiro, P. (2008). Concreto: estructura, propiedades y materiales. In *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. <https://books.google.com.pe/books?id=oVgAAQAACAAJ>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022, October 11). *Compendio anual "Producción agrícola."* <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2730325-compendio-anual-de-produccion-agricola>
- Molocho, J., & Rodríguez, D. (2020). *Adición de la cascarilla de café y sus cenizas para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c$: 210 kg/cm², en las viviendas económicas de Moyobamba - 2020* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55350>
- MVCS. (2020). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)* (pp. 1–1). Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Palacios, L. (2021). *Evaluación de resistencia a compresión del concreto $f'c$ = 210 kg/cm² con adición de ceniza de coronta y nuez, Vilcashuamán, Ayacucho 2021* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66288>
- Rivera, G. (2007). *Concreto simple* (Primera, pp. 1–256). Universidad de Cauca. <https://www.udocx.com/read/tecnologia-concreto-y-mortero-rivera-pdf>
- Sánchez, D. (2000). *Tecnología del concreto y del mortero* (Cuarta). Bhandar Editores Ltda.