



ISSN: 0123-3033 –ISSN-e: 2027-8284



Revisión sistemática de las propiedades físico-mecánicas del hormigón con incorporación de Ceniza de Madera

Systematic review of the physico-mechanical properties of concrete with wood ash incorporation.

Débora G. Vallejos-Peltroche¹  José A. Pérez-Villanueva²  Sócrates P. Muñoz-Pérez³ 

^{1,2,3}Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, Escuela de Ingeniería Civil.
msocrates@crece.uss.edu.pe, vpeltrochedebor@crece.uss.edu.pe,
pwillanuevajose@crece.uss.edu.pe

Cómo citar: Correa-Zeña, A., Hurtado-Bravo, A.H., Muñoz-Pérez, S.P. Revisión sistemática de las propiedades físico-mecánicas del hormigón con incorporación de Ceniza de Madera. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2); e-30111825. doi: <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i2.11825>

Recibido: enero 14 2022 **Aprobado:** 29 marzo 2023

Resumen

El presente documento tiene como objetivo realizar una revisión literaria sobre los efectos que produce la utilización de cenizas de madera como componente en el concreto, de tal manera que permita determinar sus propiedades mecánicas y su comportamiento. Se hizo una revisión de 80 artículos arbitrados e indexados en *Scopus*, *Ebsco* y *Science Direct*. Seguidamente, las palabras claves fueron: “concrete and wood ash, replacement of cement with wood ashes, percentages of wood ash in concrete”. A partir de dicha revisión se concluye que la utilización de las cenizas de madera brinda mejores comportamientos físico-mecánicos al momento de ser empleado en materiales como el concreto; sin embargo, sus porcentajes adecuados oscilan entre el 5 al 15% dado que en dichas proporciones ha permitido obtener un incremento en relación del concreto patrón en un 76% de su resistencia a compresión.

Palabras clave: Autorreparación, agentes microbianos, biomineralización y propiedades mecánicas.



Este trabajo está licenciado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual4.0

Abstract

The purpose of this paper is to carry out a literature review on the effects of using wood ash as a component in concrete, in order to determine its mechanical properties and behavior. A review of 80 refereed and indexed articles was carried out. The key words were: "concrete and wood ash, replacement of cement with wood ashes, percentages of wood ash in concrete. From this review it is concluded that the use of wood ash provides better physical-mechanical behavior when used in materials such as concrete; however, its adequate percentages range from 5 to 15%, given that in these proportions it has allowed obtaining an increase in relation to the standard concrete of 76% of its compressive strength.

Keywords: Concrete, Wood Ash, Mechanical Properties

Introducción

Materiales tradicionales de construcción tales como: concreto, acero, ladrillo, han sido elementos *boom* empleados en las diferentes obras de infraestructura; esto se refleja por las diversas necesidades que surgen en poblaciones a nivel mundial (1). Asimismo, los componentes de dichos elementos son considerados altamente contaminantes debido a que expulsan grandes porcentajes de CO₂, y sobre todo, requieren gran cantidad de energía y agua, destacando así que son materiales no renovables (2). Por lo expuesto, todos estos factores generan un enorme impacto ambiental.

Actualmente en Sudamérica el principal elemento que se utiliza para la elaboración de materiales como el concreto es el cemento; sin embargo, de acuerdo a esto ha surgido la necesidad de mejorar la calidad de dichas mezclas, por tal motivo la industria de la construcción está evaluando la incorporación de usar diferentes residuos para que sean adicionadas en las mezclas y puedan brindar un mayor beneficio respecto a costos y medio ambiente. (3)

Existen diversos métodos que pueden permitir la reutilización de grandes cantidades de desperdicios procedentes de zonas urbanas y semiurbanas y así puedan ser incorporados en la fabricación de los elementos de construcción. (4) Sin embargo, se ha evidenciado que diferentes materiales de residuos como desechos plásticos, de carbón o vidrio, se pueden emplear beneficiosamente en la fabricación de materiales de la industria de la construcción. (5)

Las propiedades mecánicas del hormigón con micro esferas de vidrio tuvieron como resultado un aumento a la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, que es un 243% más resistente que el hormigón. (81) De la misma manera, al adicionar ceniza de bagazo de caña a la mezcla cementante, la resistencia a la compresión aumentó, siendo una de las opciones potenciales para el aprovechamiento de residuos y reducir las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón. (82)

A nivel mundial los países generan residuos derivados de diversas fuentes, mayormente pasan por un proceso de incineración,

asimismo se queman al aire libre, se vierten en agua, para luego ser arrojados en vertederos, lo que provoca un gran impacto ambiental (6). Por tal razón, es necesario que dichos residuos sean utilizados como material de construcción, ya que así el efecto negativo sería menor. Ahora, la necesidad de utilizar favorablemente la energía, y el cambio climático global han hecho que sea obligatorio y necesario reducir la contaminación ambiental. Para ello se realizará la reutilización de los diversos desechos que se arrojan frecuentemente al medio ambiente. (7) Sabemos que materiales de construcción como el concreto son los más usados para el desarrollo de diferentes obras a nivel global (8); sin embargo, su dosificación requiere la incorporación de componentes que otorguen al concreto mayor calidad además de resultados positivos en sus propiedades físico-mecánicas. (9)

No obstante, están empezando a existir muchos cuestionamientos acerca de lo que ocasiona el uso constante de los materiales que componen al hormigón, específicamente, el cemento, ya que produce problemas medioambientales y de sostenibilidad (10). En ese sentido, ha surgido la posibilidad de la utilización de componentes alternativos cementantes como cenizas de madera para ser adicionados por completo o de forma parcial al cemento. (11)

Es importante señalar que el uso irresponsable de residuos a base de madera constituye un desecho ecológicamente problemático, ya que su contacto con el agua, el suelo y el aire, genera problemas de contaminación medio ambiental. En efecto, la acumulación de los residuos de madera que se generan a nivel mundial ocasionan una preocupación de gran importancia, sobre todo para la sociedad y el ambiente. Por ende, en el campo de la ingeniería civil se está buscando hacer uso de

este tipo de residuos en reemplazo del cemento (12).

A partir de la problemática que se origina hoy en día a causa del consumo excesivo del cemento para elaborar materiales como el concreto, es que surge la posibilidad de reutilizar residuos a base de madera en nuevos materiales (13). Asimismo, distintas investigaciones corroboran que se está evidenciando una grave crisis en el ámbito de la construcción, y todo es a base del consumo constante y exagerado de los recursos naturales y energía, ocasionando así que el costo de materiales de los componentes del concreto siga aumentando (14).

En la misma línea se sabe que la profesión de la construcción enfrenta que sus recursos estén siendo limitados y conlleva a que se produzcan sobrecostos. Por esta razón se estima la posibilidad de utilizar materiales de desecho como cenizas de madera de tal manera se disminuya costos, y a su vez sea un factor beneficioso para el medio ambiente (15). Es indispensable reducir los impactos ambientales ocasionados por la constante producción de materiales como el concreto, y por ende es necesario convertir dicho material en un elemento más sostenible.

Componentes nuevos y eficaces que permitan reemplazar parcial o totalmente al cemento son alternativas que pueden hacer del concreto un material con menor carga contaminante y económica, ya que todo ello se asocia a su proceso de elaboración (16). En esa misma dirección se menciona el alto costo de los agregados que componen al concreto, pero que debido a su consumo excesivo han sido limitados (17).

Recientes investigaciones han demostrado que la ceniza de madera puede ser el componente

de reemplazo al cemento, sin generar efectos perjudiciales; puesto que se evidenció mejoras en sus propiedades físico-mecánicas en materiales como el concreto (18). Una buena alternativa sería las cenizas de madera para buscar la reducción del uso del cemento y disminuir los grandes porcentajes de CO₂. (19) Efectivamente, los materiales de construcción han pasado por variedad de cambios a causa del surgimiento de nuevos materiales que son resultado del procesamiento de distintos residuos (20) y, por tanto, si a este tipo de desechos se les da un buen uso, generaría nueva materia prima capaz de reemplazar o sustituir al cemento (21).

Subproductos que se obtienen de la madera sirven en la actualidad como un sustituto parcial o temporal en la elaboración del concreto, debido a que estos materiales por tratarse de desechos con un impacto ambiental positivo es prácticamente un beneficio que otorgaría a los elementos de construcción (22). Asimismo, presenta beneficios económicos considerables y adecuadas características físico-mecánicas (23).

En los últimos años la industria de la ingeniería ha comenzado con el estudio y tratamiento de materiales como residuos que se extraen de árboles, producto es la madera que son elementos disponibles a nivel

mundial, extraídos de la tala y de los cerraderos. (24).

El empleo de cenizas de madera ha permitido reemplazar algunos componentes del hormigón porque tienen muchas características favorables tales como: menor porcentaje de contaminación y son accesibles (25). Además, proporciona mayor sustentabilidad de las estructuras de concreto a partir del uso de las cenizas de madera; de igual modo, reduce costos de construcción, porcentajes de CO₂, los cuales provocan un impacto negativo al medio ambiente (26).

La fabricación de nuevos materiales se da con el fin de buscar mejoras de calidad considerando siempre factores ambientales y económicos en la construcción (27). Sin embargo, se está evaluando la disminución en porcentajes de algunos materiales de construcción, que a su vez, se sustituyan por productos como cenizas de madera; ya que se ha corroborado como el empleo de dicho producto favorece en las propiedades físico-mecánicas de los distintos materiales del ámbito de la construcción (28). La utilización de componentes a base de madera para la elaboración del concreto se está convirtiendo en una alternativa positiva para optimización y disminución considerable de los recursos, durante el proceso de fabricación de materiales comúnmente utilizados como el cemento.

Metodología

La búsqueda en la base de datos de la colección central online *Scopus* se realizó el 13 de setiembre del 2021. El procedimiento de búsqueda se presenta en la tabla 1. La búsqueda se realizó sobre el tema "*concrete and wood ash, replacement of cement with wood ashes, percentages of wood ash in concrete*". Se buscaron 80 artículos arbitrados

e indexados, los cuales fueron obtenidos de las siguientes bases de datos: *Scopus*, *Ebsco* y *Science Direct*.

Por otro lado, también se evidencia el proceso de búsqueda en la figura 1. La búsqueda se realizó sobre el tema "*Concrete with wood ashes*", "*Mechanical characteristics of wood-*

ash concrete", " *replacement of cement with wood ashes*" para la base online *Ebsco*. Del mismo modo, se realizó la búsqueda en *Scopus* sobre el tema: " *concrete AND wood ashes*", " *Physical properties of wood ash in concrete*", " *Wood ashes in construction*", " *Wood ashes AND*

construction". De los temas mencionados se optaron por artículos de investigación y revisiones, a su vez, se excluyeron las áreas restantes. Finalmente, se realizó la búsqueda en *ScienceDirect* con la palabra clave: " *Wood ash in concrete*". Tabla 2.

Tabla 1. Artículos distribuidos según la base de datos y el año de publicación

Año	Base de Datos			Total
	Scopus	Ebsco	Science Direct	
2017	2	2	5	9
2018	6	2	2	10
2019	5	1	2	8
2020	7	10	4	21
2021	15	7	10	32
Total	35	22	23	80

Fuente: *Elaboración propia.*

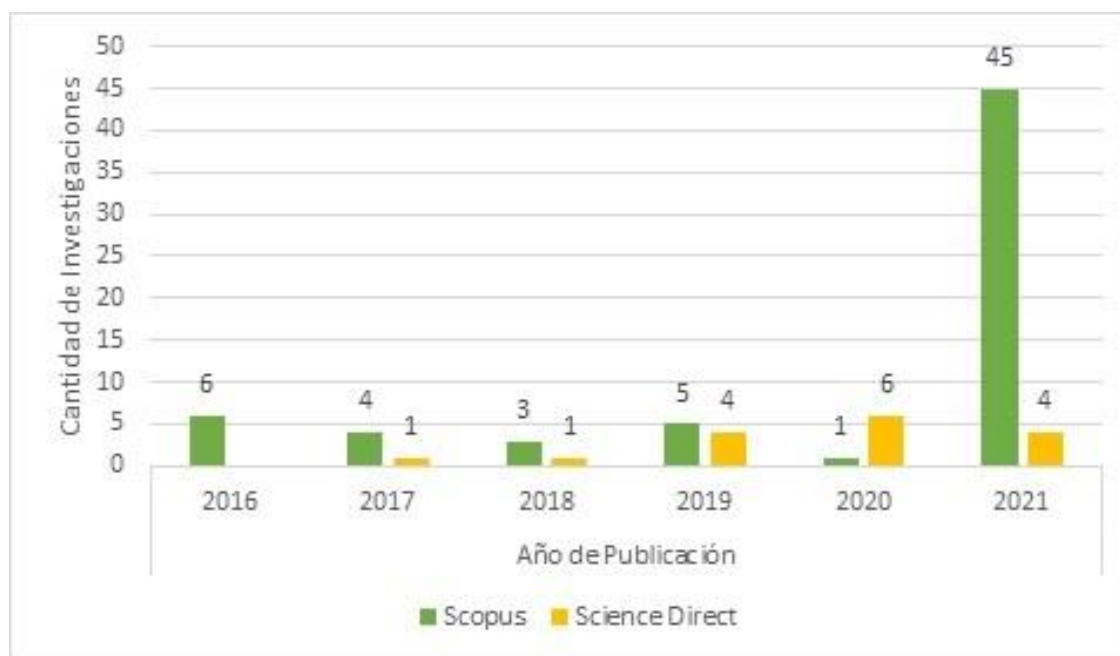


Figura 1. Búsqueda de bases de datos en línea

Tabla 2. Artículos seleccionados según la base de datos, palabras clave y filtros de búsqueda.

Base de Datos	Palabras claves	Cantidad de doc. Resultantes sin filtro	Filtro de la búsqueda	Años de la búsqueda de la información	Cantidad de doc. Resultantes con filtro	Cantidad de doc. que se seleccionó
ScienceDirect	Wood ash in concrete	9751	Engineering Materials Science Review articles	2017-2021	178	23
	Concrete with Wood ashes	56			18	
EBSCO	Machanical characteristics of Wood-ash concrete	38163	Publication by years Materials	2017-2021	15607	22
	Replacement of cement Wood ashes	16			11	
Scopus	Concrete AND Wood ashes	264			51	
	Physical properties of Wood ash in concrete	34	Publication by year Application by subject area	2017-2021	5	35
	Wood ashes in construction	359	Application by document type		50	
	Wood ashes AND construction	373			81	

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

De acuerdo con estudios realizados por expertos en las últimas décadas sobre el calentamiento global, se ha confirmado que los grandes porcentajes de dióxido de carbono están aumentando a un ritmo sin precedentes (29); lo que ha conllevado a que el medio ambiente se vea severamente perjudicado, puesto que los efectos negativos surgen por el desecho de residuos o el agotamiento de los recursos naturales. (30)

Se sabe que la industria de la construcción y el uso de sus distintos elementos consumen una proporción significativa de la energía y los recursos naturales mundiales (31). Por tal razón, una solución eficiente para mejorar el uso constante tanto de energía, como de sus recursos sería a través de la utilización de componentes a base de madera, que han demostrado ser un éxito al momento de ser empleados (32). Asimismo, según (33) cita que el rápido crecimiento en las diversas áreas de construcción ha generado a nivel mundial incertidumbres en el aspecto económico y ambiental. Del mismo modo (34) indica desde este contexto, que la acumulación de millones de toneladas de residuos industriales y domésticos ocasiona graves peligros para la salud de la humanidad y diversas especies. Por tal motivo, (35) menciona que se debe sustituir al cemento en el concreto para que de esta manera se pueda reducir el efecto negativo ambiental al momento de emplearlo.

Se han realizado diversos estudios, donde se ha reemplazado el cemento por las cenizas de

madera en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%; posteriormente, se realizaron ensayos para determinar sus resistencias después de 21 días; donde se obtuvo que en porcentajes de 5% se logró alcanzar una óptima resistencia a la compresión (345.69 kg/cm²). Concluyendo así que la incorporación de las cenizas de madera en materiales como el concreto otorgaría buenos beneficios, además, que permitirá la reducción de materiales contaminantes (36).

La gran demanda de los componentes de construcción, especialmente para la elaboración del concreto, originada por el rápido crecimiento de la urbanización está ocasionando la propagación del dióxido de carbono, y el agotamiento de los recursos naturales (37). Por tanto, según (38) reafirma que los nuevos escenarios y tendencias a nivel de Latinoamérica necesitan la búsqueda de nuevas alternativas para reemplazar al cemento, teniendo como alternativa sostenible las cenizas de madera.

(39) cita que para superar la problemática ocasionada por los niveles altos de CO₂ se irá modificando la producción del concreto; es decir, reduciendo el Clinker e incorporando materiales de residuos a base de madera; puesto que se ha evidenciado que dichos productos ofrecen un óptimo rendimiento de resistencia y durabilidad en el concreto, permitiendo así el crecimiento del sector construcción. Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje óptimo de temperatura de quemado de madera.

Referencias	% de cenizas de reemplazo	Temp. de calcinado del RHA
(34)	N/D	450 - 900 °C
(35)	N/D	500 - 700 °C
(36)	15% - 30%	600 °C
(40)	N/D	700 °C
(41)	N/D	500 - 700 °C

Fuente: elaboración propia

Disminución de los problemas ambientales con cenizas de madera

Proyectos de urbanización e infraestructura han aumentado con el transcurrir de los años, lo cual conlleva a la utilización constante de los diversos elementos constructivos (40). A pesar de que los materiales más usados en la industria de la construcción son el concreto, empleándose generalmente como material de estructura debido a su alta versatilidad y durabilidad en comparación de otros materiales construcción (41); se considera que dicho material está compuesto por agua, agregados y cemento, donde el último material mencionado conlleva a grandes emisiones de CO₂ al momento de su producción (42).

(43) indica que países como Australia y Nueva Zelanda utilizan elementos a base de madera con el fin de no causar impactos negativos al medio ambiente, sin dejar de lado que busca otorgar nuevas alternativas viables para la industria de la construcción.

Ahora, desde el impacto ambiental para que disminuya los grandes porcentajes de CO₂, se sugiere el empleo de ceniza de madera; pues el uso adecuado de dicho material permite garantizar el control de calidad para aplicaciones en compuestos cementosos; y así

mismo otorga beneficios al medio ambiente. (44)

Materiales como la madera en los últimos años han ganado importancia como alternativa sostenible y beneficiosa para el concreto (45). Por tal motivo según (46) indica que incorporando la madera en ceniza resulta ser más económico y más factible de implementar en el campo de la construcción, por lo que pueden utilizarse como alternativa, ya que, en la búsqueda de la disminución de los problemas ambientales, dichos residuos son más respetuosos con el medio ambiente.

Asimismo, según (47) menciona que para reducir el CO₂ se han desarrollado muchos métodos que están asociados con la producción de hormigón; y van desde la sustitución de equipos de fabricación ineficientes hasta materiales alternativos.

(48) cita que diversos resultados destacan el potencial beneficio de las cenizas de madera, del mismo modo, dicho compuesto además de ser sostenible, se puede emplear como refuerzo de adherencia y resistencia para las mezclas de concreto, ya que tiene características potenciales para su aplicación en la fabricación de materiales de construcción. Finalmente, aumentar el uso de materiales como cenizas de madera en la ingeniería permite contribuir a impulsar un

cambio hacia una producción de materiales de construcción más eficiente en cuanto a emisiones. (49)

Propiedades físicas, según diversos autores

Al agregar cenizas de madera en las mezclas de concreto, se modifican sus propiedades físicas, la mayoría de estas son muy favorables, por ejemplo, la disminución del peso en relación con el concreto convencional lo que daría lugar a estructuras más livianas (45).

La densidad del hormigón con cenizas de madera disminuye considerablemente a medida que sean más pequeñas las partículas, esto es por la incorporación de aire de dichos materiales, por otro lado, se concluye que bajo los ataques de ácidos tienen un buen comportamiento debido a la alta capacidad de restringir las grietas en el hormigón (46).

Propiedades mecánicas, según diversos autores

La utilización de la ceniza de madera en materiales como el concreto, es un tema relevante en la actualidad; dado que dicho producto está demostrando óptimas condiciones para que pueda ser empleado en los materiales de construcción, brindando así adecuadas características mecánicas. (50)

Los efectos de las propiedades mecánicas del concreto; así como la durabilidad dependerá de cada uno de sus componentes al momento de su producción. Por tal razón, (51) indica que los diversos estudios se han enfocado en la incorporación de cenizas de madera por reemplazo del cemento portland, en proporciones de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% en peso, donde en proporciones de 15% se logró obtener óptimas características mecánicas, por lo que se concluye que este tipo

de residuos resultarían ser componentes adecuados para la producción del concreto.

Ahora bien, según (52) se ha demostrado que la utilización de cenizas de madera en el concreto para reemplazar al cemento *Portland* genera mayor beneficio, dado que la fabricación del Clinker trae consigo gran porcentaje de CO₂. Por ello se elaboraron mezclas de concreto, sustituyendo el cemento por cenizas de madera (3 mezclas) en porcentajes de 5%, 10% y 15% en volumen; Obteniéndose como resultado que en porcentajes de 5%, 10% presentaron una resistencia a la compresión óptima (300 kg/cm²) para que pueda ser empleado como material cementante del concreto.

(53) indica que el uso de las cenizas de madera en el concreto otorga beneficios positivos en gran magnitud, y sobre todo se reduciría el impacto negativo ambiental por la fabricación del cemento portland.

(54) también cita que la ceniza de madera influye positivamente en la resistencia a la compresión del concreto, dado que hasta el 20% de incorporación de dicho producto reemplazando al cemento ha permitido que su resistencia mejore significativamente.

Asimismo, según (55) indica que cuando se ha sustituido en porcentajes de 3,6%, 7,3% y 10,9%, la resistencia se ha incrementado 12%, 75% y 87% respectivamente, lo que evidencia que la adición de dicho componente brinda óptimas características mecánicas al concreto.

En cuanto (56) menciona que las características mecánicas del concreto dependerán de los componentes que lo conformen. Por ejemplo, se han realizado estudios con 2 tipos de madera, y se observó que un tipo de madera obtuvo una resistencia inferior a la referencial. Del mismo modo, con

el otro tipo de madera después de los 7 días, se tuvo como resultado que su resistencia a la compresión es superior a la de las otras mezclas, por lo que se concluye que el resultado que se obtenga dependerá del tipo de componente que sea incorporado en materiales como el concreto.

Por su lado, (57) menciona que se han realizado estudios donde se emplean cenizas de madera con otros dos componentes. Para tal estudio se adicionaron porcentajes de 10% de ceniza más 20% de metacaolín, donde se obtuvo que su resistencia a la compresión fue igual a 846.36 kg/cm². Concluyendo de tal manera que dicho residuo a base de madera otorga grandes beneficios a materiales como el concreto.

Según (58) menciona un estudio donde se evidencia el comportamiento de las cenizas de madera como reemplazo del cemento. Se prepararon moldes de concreto con dos tipos de cenizas de madera en porcentajes de 0,10,15,20%, asimismo el proceso de curado fue durante los 7 y 28 días. Se obtuvo como resultado que con incorporación del 10% de cenizas existió mayor dureza del elemento, sin embargo, solo con un tipo de ceniza se logró

alcanzar una resistencia superior. Por lo que dicho estudio recomienda, la ceniza de madera ya que el empleo de estos materiales influye en las propiedades del concreto.

Asimismo, (59) indica que en algunos estudios se ha incorporado el cemento con la ceniza de madera, donde el último elemento tiene el efecto más positivo para aumentar la resistencia a la compresión, tracción y flexión en el concreto. Los porcentajes adecuados para dichos estudios fueron: 10% de portland más 10% de cenizas de madera. Concluyendo así que dicha ceniza tiene mejores beneficios en comparación con la muestra patrón.

(60) menciona que residuos como cenizas hoy en día pueden ser materiales ampliamente aceptados como sustitutos de los materiales convencionales, y sobre todo, podrían convertirse en componentes indispensables para la producción de materiales como el concreto. Tal como indica (61) que a través de estudios realizados evidencia que cuando se ha incorporado hasta el 20% de cenizas de madera en elementos como el concreto se ha obtenido como resultados mejor trabajabilidad, y sus resistencias, tanto de compresión y flexión han ido en aumento. Tabla 4, tabla 5, tabla 6.

Tabla 4. Porcentaje óptimo de ceniza de madera y beneficios que otorgó.

Referencias	% Óptimo de cenizas	Beneficios
(62)	5%	Permitió alcanzar resistencias de 792.32
(63)	7%	Los resultados mostraron una mejora en las propiedades mecánicas del concreto
(64)	2%	Mostraron óptimos resultados respecto absorción, durabilidad, resistencia
(65)	5%	Permitió alcanzar resistencia desde 164.68 hasta 452.24
(66)	5%	Se obtuvieron las propiedades mecánicas deseadas, con la incorporación de cenizas de madera.
(67)	10%	Ha permitido mejores resultados respecto a resistencia, tanto compresión y flexión
(68)	10%	Existió incremento en su resistencia a la compresión (7-28 días)
(69)	20%	Su resistencia, la compresión, y la flexión aumentaron durante los 28 días

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resistencia a la tracción con incorporación de ceniza de madera

Referencia	% Cenizas	Propiedad Mecánica Tracción
(70)	5%	203.94
	10%	204.45
	15%	214.65
	20%	193.75
(71)	0.2%	409.93
	0.4%	395.65
	0.6%	407.89
	1%	418.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resistencia a la compresión

referencias	Tipo de ceniza	% de cenizas	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)				% óptimos	Sagun estudios
			7 días	14 días	28 días	56 a Más días		
(72)		5%	381.17	446.64	501.7		10%	
		10%	388.51	461.42	512.61	No existió		
		15%	283.99	338.14	379.44			
		20%	259.62	340.89	353.13			
(73)		5%	No detalla		421.14	478.25	5%	
		10%			370.16	443.58		
(74)		5%	290.62		433.38		15%	
		10%	306.93	No detalla	449.69	No existió		
		15%	326.31		470.09			
		20%	304.9		436.44			
(22)		10%	183.54	211.08	306.42		30%	
		20%	203.94	257.99	326.31	No existió		
		30%	204.96	263.08	356.9			
(75)	Cenizas de madera	5%	138.27	140.62	161.42	No existió	5%	
		10%	109.61	130.01	144.8			
(76)		10%	428.28	No detalla	530.25	622.03	10%	
(77)		5%	211.18	336.81		374.44	En la mayoría de los casos el f'c aumenta.	
		10%	257.17	383.52		468.15		
		13%	256.66	378.82	No detalla	455.2		
		15%	283.48	420.84		411.97		
		20%	286.85	414.82		465.7		
(78)		26%	No detalla		437.46	No se realizó	26%	
(79)		20%	No detalla		243.71	246.77	20%	
		40%			143.78	189.67		
(80)		15%	No detalla		305.93	No detalla	15%	
		20%	No detalla		288.58			

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Con base a los diferentes estudios se puede determinar que las cenizas de madera resultan ser componentes beneficiosos para que puedan ser empleados en la producción de elementos como el concreto. Asimismo, generaría

efectos positivos para el medio ambiente, puesto que su aplicación conllevaría a la disminución del consumo de recursos naturales, disminuyendo así las emisiones de CO₂.

Asimismo, de acuerdo a las diferentes revisiones se concluye que con la inclusión de porcentajes mayores al 30% se reduce la resistencia a la compresión, pero aumenta la resistencia a la flexión en 16%.

La aplicación en óptimos porcentajes de cenizas de madera ha permitido obtener resistencias hasta los 850 kg/cm² a

comparación del concreto patrón $f'c = 479.16$ kg/cm². Por ello, ha sido necesario en diversas investigaciones que los porcentajes empleados varíen entre el 5% hasta el 15%.

Finalmente, en la mayoría de investigaciones la temperatura óptima de quemado de madera se encuentra entre los rangos de 500°C a 700°C.

Referencias bibliográficas

1. Ristić N, Grdić Z, Topličić ćurčić G, Grdić D, Dodevski V. Properties of self-compacting concrete produced with biomass wood ash. *Tehnicki Vjesnik*. 2021; 28(2): p. 495-502.
2. Makul N. , Fediuk R. , Amran M. , Zeyad A.M. , Klyuev S. , Chulkova I. , et al. Design strategy for recycled aggregate concrete: A review of status and future perspectives. *Crystals*. 2021; 11(6).
3. Choudhary J, Kumar B, Singh S. Assessment of engineering and environmental suitability of waste bituminous concrete containing waste biomass ash. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2021; 14(6): p. 751-763.
4. Poulidakos L, Papadaskalopoulou C, Hofko B, Gschösser F, Cannone Falchetto A, Bueno M, et al. Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017; 116: p. 32-44.
5. Mymrin V, Scremim C, Stella J, Pan C, Avanci A, Bosco J, et al. Environmentally clean materials from contaminated marine dredged sludge, wood ashes and lime production wastes. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 307.
6. Vishnu T. , Singh K.L.. A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2021; 14(5): p. 625-637.
7. Kicińska A, Caba G. Leaching of chlorides, sulphates, and phosphates from ashes formed as a result of burning conventional fuels, alternative fuels, and municipal waste in household furnaces. *Energies*. 2021; 14(13).
8. Verma , Bhardwaj S, Lalotra S. To Study the Effect on Mechanical Behavior of Fiber Reinforced Concrete Using Polyethylene Terephthalate and Wood Ash. *International Journal of Recent Research Aspects*. 2019; 6(4).
9. Rithuparna R, Jittin V, Bahurudeen A. Influence of different processing methods on the recycling potential of agro-waste ashes for sustainable cement production: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 316.
10. Izquierdo I.S. , Izquierdo O. , Ramalho M.. Physical and mechanical properties of concrete using residual powder from organic waste as partial cement

- replacement. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2018; 33(3).
11. Charitha V, Athira V. S, Jittin V, Bahurudeen A, Nanthagopalan P. Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. *Construction and Building Materials*. 2021; 285.
 12. Kothari A, Habermehl Cwirzen K, Hedlund H, Cwirzen A. A review of the mechanical properties and durability of ecological concretes in a cold climate in comparison to standard ordinary portland cement-based concrete. *Materials*. 2020; 13(16): p. 2-32.
 13. Teixeira E, Camões A, Branco F. Valorisation of wood fly ash on concrete. *Resources, Conservation & Recycling*. 2019; 145.
 14. Macanjo Ferreira D, Luso E, Lurdes Cruz M, Mesquita LMR, Gontijo G. Fire behaviour of ecological soil–cement blocks with waste incorporation: experimental and numerical analysis. *Journal of Fire Sciences*. 2020;: p. 1-21.
 15. Campos Teixeira AH, Ribeiro Soares Junior PR, Silva TH, Rodrigues Barreto R, da Silva Bezerra AC. Low-carbon concrete based on binary biomass ash-silica fume binder to produce eco-friendly paving blocks. *Materials*. 2020; 13(7): p. 1-31.
 16. Jhatial AA, Goh WI, Sohu S, Mangi SA, Mastoi AK. Preliminary investigation of thermal behavior of lightweight foamed concrete incorporating palm oil fuel ash and eggshell powder. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2021; 65(1): p. 168-180.
 17. Wang X, Peng M, Wang , Ahmed Jalal KC. Effect of lime-bone ratio on compressive strength and void fraction of recycled green ecological concrete. *Nature environment & pollution technology*. 2019; 18(5): p. 1579-1583.
 18. Vijay K. , Hari Babu K. , Vidya Indrasena Y.. Effect of Wood-Ash as Partial Replacement to Cement on Performance of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 796(1).
 19. Premkumar Ra, Chokkalingam R, Shanmugasundaram Mb, Ragasree Aa. Study on mechanical properties of alkali activated binary blended binder containing steatite powder and fly ash / GGBS. *Materials science and engineering*. 2020; 872(1): p. 1-7.
 20. Cabrera M, Díaz López JL, Agrela F, Rosales J. Eco-efficient cement-based materials using biomass bottom ash: A review. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020; 10(22): p. 1-23.
 21. Sun R. , Wang D. , Cao H. , Wang Y. , Lu Z.. Ecological pervious concrete in revetment and restoration of coastal Wetlands: A review. *Construction and Building Materials*. 2021; 303.
 22. Arunkumar K, Muthukannan M, Dinesh Babu A, Hariharan L, Muthuramalingam T. Effect on addition of Polypropylene fibers in wood ash-fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 872: p. 012162.
 23. Ndukwu M, Bennamoun L, Simo Tagne M, Ibeh M, Abada U, Ekop I. Influence of drying applications on wood, brick and concrete used as building materials: a review. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2021; 6(1): p. 24.
 24. Rojo López G, Nunes S, González Fonteboa B, Martínez Abella F. Quaternary blends of portland cement, metakaolin, biomass ash and granite powder for production of self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production*.

- 2020 Setiembre; 256: p. 121666.
25. Siddique R, Singh M, Singhal AK. Use of unprocessed wood ash as partial replacement of sand in concrete. *ACI Materials Journal*. 2019 Noviembre; 116(6): p. 77 - 86.
 26. Hussain Z. , Maqsood R. , Din M.I. , Khan S. , Shahnaz A. , Rashid M. , et al. Enhanced mechanical properties of wood ash and fly ash as supplementary cementitious materials. *Advances in Applied Ceramics*. 2017 Octubre; 116(7): p. 355-361.
 27. Sachin Prabhu P, Nishaant HA, Anand T.. Behaviour of self-compacting concrete with cement replacement materials. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2018; 8(2S): p. 360-363.
 28. do Couto Á, Nogueira G, Sandoval G, Schwantes Cezario N, Morales G. Initial study of Eucalyptus Wood Ash (EWA) as a mineral admixture in concrete. *Dyna*. 2019; 86(208).
 29. Ahmad Bhat J. Mechanical behaviour of self compacting concrete: Effect of wood ash and coal ash as partial cement replacement. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 42(2): p. 1470-1476.
 30. Antoun M, Issa A, Aouad G, Gerges N. Sustainable masonry blocks: Olive wood waste as substitute for fine aggregates. *Case Studies in Construction Materials*. 2021; 15: p. e00590.
 31. Amiri A, Emami N, Ottelin J, Sorvari J, Marteinsson B, Heinonen J, et al. Embodied emissions of buildings - A forgotten factor in green building certificates. *Energy and Buildings*. 2021; 241: p. 110962.
 32. Faggiano B, Iovane G, Marzo A, Grippa R, Calado L, Mazzolani M. Reinforcement of ancient floors by timber-concrete composite systems with collar connector. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*. 2021; 174(6): p. 491 - 503.
 33. Dimter S, Šimun M, Zagvozda M, Rukavina T. Laboratory evaluation of the properties of asphalt mixture with wood ash filler. *Materials*. 2021; 14(3): p. 1-17.
 34. Rahul Rollakanti C, Siva Rama Prasad C, Kumar Poloju , Juma Al Muharbi NM, Venkat Arun Y. An experimental investigation on mechanical properties of concrete by partial replacement of cement with wood ash and fine sea shell powder. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 43(2): p. 1325-1330.
 35. Cheah C, Samsudin M, Ramli M, Part W, Tan L. The use of high calcium wood ash in the preparation of Ground Granulated Blast Furnace Slag and Pulverized Fly Ash geopolymers: A complete microstructural and mechanical characterization. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 156: p. 114 - 123.
 36. Meko B, Ighalo. Utilization of Cordia Africana wood sawdust ash as partial cement replacement in C 25 concrete. *Cleaner Materials*. 2021; 1: p. 100012.
 37. Tamanna K, Raman S, Jamil M, Hamid R. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. *Construction and Building Materials*. 2020; 237: p. 117654.
 38. Muthukannan M, Suresh kumar A, Chithambar Ganesh A, Arunkumar K. Mitigation of waste rubber tire and waste wood ash by the production of rubberized low calcium waste wood ash based geopolymer concrete and influence of waste rubber fibre in setting properties and mechanical behavior. *Environmental Research*. 2021; 194: p. 110661.

39. Onaizi AM, Fahim Huseien , Abdul Shukor Lim NH, Amran M, Samadi M. Effect of nanomaterials inclusion on sustainability of cement-based concretes: A comprehensive review. *Construction and Building Materials*. 2021; 306: p. 124850.
40. Nußholz J, Nygaard Rasmussen F, Whalen K, Plepys A. Material reuse in buildings: Implications of a circular business model for sustainable value creation. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 245: p. 118546.
41. Joyashree R, Some S, Das N, Pathak M. Demand side climate change mitigation actions and SDGs: literature review with systematic evidence search. *Environmental Research Letters*. 2021; 16(4): p. 043003.
42. Sepasgozar S, Frances Mair D, Tahmasebinia F, Shirowzhan S, Li H, Richter A, et al. Waste management and possible directions of utilising digital technologies in the construction context. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 324: p. 129095.
43. Evison D, Kremer D, Guiver J. Mass timber construction in Australia and New Zealand-status, and economic and environmental influences on adoption. *Wood and Fiber Science*. 2018; 50: p. 128 - 138.
44. Carević I, Štirmer N, Serdar M, Ukrainczyk N, Ducman , Bernardi A, et al. Effect of Wood Biomass Ash Storage on the Properties of Cement Composites. *Materials (1996-1944)*. 2021; 14(7): p. 1632.
45. Goldhahn C, Cabane E, Chanana M. Sustainability in wood materials science: An opinion about current material development techniques and the end of lifetime perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2021; 379(2206): p. 20200339.
46. Octavia S, Raubaba H, Simorangkir Y. Wood and steel as a material alternative of concrete replacement in house structures in merauke city. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 343: p. 012231.
47. Miller S, Horvath , Monteiro P. Readily implementable techniques can cut annual CO2 emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*. 2017; 11(7): p. 074029.
48. H. W. K, S. G, C. T. Biochar as a bond enhancement in fiber-reinforced mortar. *Academic Journal of Civil Engineering*. 2017; 35(2): p. 86.
49. Hildebrandt J, Hagemann N, Thrän D. The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in europe. *Sustainable Cities and Society*. 2017; 34: p. 405 - 418.
50. Grazide C, Ferrier E, Michel L. Rehabilitation of reinforced concrete structures using FRP and wood. *Construction and Building Materials*. 2020; 234: p. 117716.
51. Shafi Batt A, Garg A. Partial Replacement of Wood Ash with Ordinary Portland Cement and Foundry Sand as Fine Aggregate. *Journal of Civil & Environmental Engineering*. 2017; 7(2): p. 1000272.
52. Madrid M, Orbe A, Rojí E, Cuadrado J. The effects of by-products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units. *Construction & Building Materials*. 2017; 153: p. 117-128.
53. Gaudreault C, Lama I, Sain D. Is the

- beneficial use of wood ash environmentally beneficial? A screening-level life cycle assessment and uncertainty analysis. *Journal of Industrial Ecology*. 2020; 24(6): p. 1300-1309.
54. Arunkumar K, Muthukannan M, Suresh kumar A, Chithambar Ganesh A. Mitigation of waste rubber tire and waste wood ash by the production of rubberized low calcium waste wood ash based geopolymer concrete and influence of waste rubber fibre in setting properties and mechanical behavior. *Environmental Research*. 2021; 194.
55. Yang J, Hung Mo K, Abdalla JA, Hawileh R, Ariyachandra E, Shariah B. Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*. 2021; 40: p. 102332.
56. Sigvardsen , Geiker , Ottosen L. Phase development and mechanical response of low-level cement replacements with wood ash and washed wood ash. *Construction and Building Materials*. 2021; 269: p. 121234.
57. Kannan V, Raja Priya P. Evaluation of the permeability of high strength concrete using metakaolin and wood ash as partial replacement for cement. *SN Applied Sciences*. 2021; 3(1): p. 90.
58. Zubaid H, Suhail R. A Comparative Study on Strength of Concrete Using Wood Ash as Partial Replacement of Cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 955: p. 012043.
59. Khoshroo M, Shirzadi A, Shalchiyan M, Nik F. Evaluation of Mechanical and Durability Properties of Concrete Containing Natural Chekneh Pozzolan and Wood Chips. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*. 2020; 44(4): p. 1159 - 1170.
60. Aprianti E. A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production – a review part II. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 142: p. 4178 - 4194.
61. Fava G, Naik R, Pierpaoli M. Compressive strength and leaching behavior of mortars with biomass ash. *Recycling*. 2018; 3(3): p. 46.
62. Pivák , Pavlíková , Záleská , Jankovský O, Lojka , Pavlík. MOC Cement-Based Composites with Silica Filler. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 960: p. 022081.
63. I. M. A, A. H. A, A. S. N. Optimizing the accelerated hardening of sawdust light weight concrete with carbon dioxide gas. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 433: p. 012008.
64. Navaneethakrishnan G, Karthikeyan T, Selvam V, Saravanan S. Effect of cordia obliqua willd particles on mechanical and fracture toughness of epoxy nanocomposites. *Materials Research Express*. 2019; 6(11): p. 115038.
65. Dawood E, Al-Attar A, Zinad O. The Influence of Wood Ash on Different Cement Mortar Mixes. *AIP Conference Proceedings*. 2020; 2213(1): p. 020073-1-020073-9.
66. Garavaglia M, Bucci S, Caldognetto E, Candolini G, Ragani , Giovani C, et al. Radiological aspects for use of woodchip ashes in building industry. *Construction & Building Materials*. 2018; 183: p. 264-269.

67. Singh N, M. M, Arya S. Influence of coal bottom ash as fine aggregates replacement on various properties of concretes: A review. *Resources, Conservation & Recycling*. 2018; 138: p. 257-271.
68. Adnan H, Nar M, Osman H, Jusoh W, Jamellodin Z, Anuar W. The study on used of tropical wood sawdust as a replacement fine aggregates in concrete mix. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020; 29(6): p. 1542 - 1548.
69. Nader V, Awwad E, Wakim J, Haya B. A study on cement-based mixes with partial wood bottom ash replacement. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*. 2020; 173(1): p. 15-23.
70. Adhikari S, Ozarska B. Minimizing environmental impacts of timber products through the production process "From Sawmill to Final Products". *Environmental Systems Research*. 2018; 7(6): p. 0109-x.
71. Acordi J, Luza A, Fabris C, Raupp Pereira F, De Noni A, Montedo R. New waste-based supplementary cementitious materials: Mortars and concrete formulations. *Construction and Building Materials*. 2020; 240: p. 117877.
72. Kanmani SS, Umesha PK, Asha. Behaviour of steel fibre reinforced concrete with wood ash as partial replacement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 822: p. 012053.
73. Anu T, Ramaswamy KP, Adarsh N, Padmanabhan R, Tom I, Vishnu A. Strength of concrete with wood ash and waste glass as partial replacement materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 491: p. 012040.
74. Kunamineni V, Korrakuti Hari B, Yarlaga Vidya I. Effect of Wood-Ash as Partial Replacement to Cement on Performance of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 796: p. 012020.
75. Bunyamin B, Munirwan R, Ridha M, Hendrifa N. Utilization of wood processing dust as a substitute for a part of cement in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1087: p. 012004.
76. O. G. M, A. N. E, O. O, Bamigboye G, Okeke C, S. O. O, et al. Influence of Some Selected Supplementary Cementitious Materials on Workability and Compressive Strength of Concrete – A Review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 640: p. 012071.
77. Schmidt W, Vilches J, Zamora D, Bustamante M, Cofré R. The Effect on the Compressive Strength of Concrete Produced by the Incorporation of Boiler-Calcined Biomass Ash into Sand from the Maule River, Chile. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 503: p. 012075.
78. Valencia Saavedra G, Angulo Ramírez E, Mejía de Gutiérrez R. Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/escoria: Sulfatos y ácidos. *Informador Técnico*. 2018; 82(1): p. 67-77.
79. Ayobami A. Performance of wood bottom ash in cement-based applications and comparison with other selected ashes: Overview. *Resources, Conservation & Recycling*. 2021; 166: p. 105351.
80. Nagrockienė D, Daugėla A. Investigation into the properties of concrete modified

- with biomass combustion fly ash. *Construction & Building Materials*. 2018; 174: p. 369-375.
81. Valencia J, González A, Arbeláez O. Properties of modified concrete with crumb rubber: effect of the incorporation of hollow glass microspheres. Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería. 2021;(98).
82. Arbeláez O, Delgado K, Castañeda J. Effect of incorporation of cane bagasse ash on mechanical properties and carbon dioxide emissions of concrete containing waste glass. *EL SEVIER*. 2022.