



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Influencia del residuo de ceniza de madera en las propiedades físicas y mecánicas del concreto: Una revisión literaria

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERIA CIVIL

Autor:

Robles Gonzales Jhunion Jhosue

<https://orcid.org/0000-0002-0646-3730>

Asesor:

PhD. Muñoz Pérez Sócrates Pedro

<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Línea de Investigación:

Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la Industria
en un Contexto de Sostenibilidad

Sublínea de Investigación:

Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura

Pimentel – Perú

2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresado del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

Influencia del residuo de ceniza de madera en las propiedades físicas y mecánicas del concreto: Una revisión literaria

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Robles Gonzales Jhonor Jhosue	DNI: 74933615	
-------------------------------	---------------	---

Pimentel, 26 de agosto de 2024

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A mis queridos padres, hermana y abuelos, quienes han sido el cimiento de mis sueños. Su apoyo constante e incondicional me ha dado la fuerza para superar cada desafío. Este trabajo es un reflejo de su sacrificio y dedicación y cada página lleva consigo un pedacito de su aliento. Gracias por ser mi inspiración y por creer en mí, juntos hemos construido este camino hacia el futuro.

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios, por guiarme y permitirme concluir mi carrera profesional. Mi más sincero agradecimiento a mis padres y familiares quienes con su apoyo incondicional han hecho que siempre mire para adelante y no dude de mí. A mis docentes, gracias por compartir su conocimiento y pasión por la ingeniería civil. Y a todos los que aportaron a la realización del presente trabajo.

¡Gracias por ser parte de este sueño!

ÍNDICE

Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Resumen	7
Abstract.....	8
II INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema.....	11
1.3. Hipótesis.....	11
1.4. Objetivos.....	12
1.5. Teorías relacionadas al tema	12
II.MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	14
III.RESULTADOS	15
IV.DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	17
Referencias.....	19

Resumen

Uno de los mayores contaminantes a nivel mundial es la producción del cemento debido al dióxido de carbono que este proceso emite, es por ello que hace unos años se busca utilizar materiales puzolánicos provenientes de residuos reciclables para reemplazar al cemento en la elaboración de concreto, de esta forma el presente artículo tiene como objetivo investigar, analizar y apoyarnos de algunos artículos sobre el uso y adición de ceniza de madera, debido a que es una gran alternativa de solución en dicha mezcla sin que pierda sus propiedades físicas y mecánicas. Los resultados de las investigaciones realizadas demuestran que el reemplazar el cemento por ceniza de madera en porcentajes de 6% y 8% es positivo para sus propiedades, pero en menores y mayores porcentajes a los antes mencionados los resultados son desfavorables en cada una de sus propiedades. Por ende, esta alternativa es favorable tanto para la elaboración de concreto como para el medio ambiente.

Palabras claves: Concreto, ceniza de madera, propiedades físicas, propiedades mecánicas.

Abstract

One of the biggest pollutants worldwide is the production of cement due to the carbon dioxide that this process emits, which is why a few years ago it was sought to use pozzolanic materials from recyclable waste to replace cement in the production of concrete, in this way this article aims to investigate, analyze and rely on some articles on the use and addition of wood ash, because it is a great alternative solution in this mixture without losing its physical and mechanical properties. The results of the research carried out show that replacing cement with wood ash in percentages of 6% and 8% is positive for your properties, but in lower and higher percentages than those mentioned above, the results are unfavorable in each of your properties. Therefore, this alternative is favorable both for the production of concrete and for the environment.

Keywords: Concrete, wood ash, physical properties, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Con el pasar de los años y más aún en la actualidad, la empleabilidad del concreto se ha elevado de una manera considerable debido a que es un material primordial para diversas estructuras por todo el mundo gracias a su versatilidad, tenacidad, disponibilidad y significativa durabilidad a comparación de otros materiales en el mismo rubro [1, 2], así como también viene siendo el material predominante en el sector construcción con más de 10 mil millones de toneladas al año y que aumentará a alrededor de 20 mil millones anuales para el año 2050 [3, 4], a su vez todo esto genera que la producción de cemento incremente porque es el material principal en la elaboración de concreto, usándose anualmente 3 mil millones de toneladas de cemento y generando 1500 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) aproximadamente. [5]

El cemento viene siendo el material aglutinante primario en la industria constructiva durante varias décadas [6], la producción de este se encuentra entre los mayores emisores de CO_2 con un total de entre 5% y 8% del total de emisiones a nivel global, ante esta problemática se ha optado por hacer uso de diferentes materiales sostenibles para sustituir parcialmente al cemento como las cenizas volantes y escorias (CVE) que ayudan a disminuir la alcalinidad, cenizas de diferentes tipos madera, cenizas de biomasa y carbón [7, 8, 9], también la ceniza de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz como aditivos minerales. [10]

La producción de cenizas de madera al año es aproximadamente de 1000 millones de toneladas donde en la mayoría de casos son arrojadas en el suelo

debido a no tener un propósito de uso [11] o son desechadas en los vertederos municipales donde pueden provocar contaminación con partículas de ceniza que son llevadas por el viento [12] y en muy pocos casos la utilizan como fertilizante para algunas tierras agrícolas [13] usándose como fertilizantes o enmiendas cálcicas pero no aportan los nutrientes suficientes para que sean aplicadas en este rubro [14], sin embargo estas cenizas pueden tener una utilización beneficiosa gracias a sus propiedades químicas y físicas que varían dependiendo el tipo de árbol, sus condiciones y el área donde fue cultivado, como fue incinerado y su temperatura, entre otros factores. [15]

Debido a esto actualmente se están llevando a cabo investigaciones para utilizar dichos residuos de ceniza en el concreto y con ensayos mecánicos ya realizados se ha observado que sustituyendo el cemento en un 5% es una de las cantidades optimas ya que presenta una durabilidad y resistencia satisfactoria alcanzando 5 MPa más luego de 90 días de curado a comparación de la mezcla base [16], esto gracias a la concentración de sílice contenida en las cenizas de madera [17], sin embargo, si nos inclinamos a utilizar cantidades altas de sustitución se observa que con 15% de estas cenizas reduce considerablemente la resistencia a la compresión hasta en 21% al cabo de 28 días en un concreto de 280 Kg/cm² [18], en 90 días solo alcanzó 180 Kg/cm² no llegando a lo esperado [19] y reemplazando 30% del cemento la resistencia a la flexión disminuye notablemente en todos los tiempos de curado, de esta manera no se recomienda usar porcentajes elevados de cenizas ya que perjudican las características mecánicas del concreto. [20]

Por otro lado, se han elaborado estudios donde no solo se puede adicionar ceniza de madera para la elaboración de concreto, sino también otros materiales a su vez, como es el caso de ceniza de carbón vegetal, que uniendo ambas cenizas y reemplazando en 10% al cemento se pueden conservar todas las propiedades mecánicas del concreto sin que estas disminuyan [21], otro caso es el de cenizas de biocarbón de cáscara de coco y que al hacer uso de esta combinación de cenizas y añadirla en un 5%, la resistencia del concreto mejora en un porcentaje aceptable después de 28 días de curado [22], así como también se puede utilizar fibras de acero, donde añadiendo 10% de ceniza y 5% de esta fibra se logra beneficios considerables respecto a la resistencia a la flexión y compresión [23], asimismo se ha investigado la utilización de residuos de vidrio, reemplazando con 5% de ceniza de madera al cemento y 10% del agregado fino con estos residuos de vidrio resulta solo 1% de diferencia a favor en el caso de la resistencia de un concreto convencional. [24]

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del residuo de ceniza de madera en las propiedades físicas y mecánicas del concreto?

1.3. Hipótesis

La ceniza de madera influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Determinar la influencia del residuo de ceniza de madera como sustituto parcial del cemento en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Objetivos específicos

Señalar la composición química y características físicas de la ceniza de madera.

Analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con reemplazo de ceniza de madera.

Señalar el óptimo porcentaje de ceniza de madera para el diseño de concreto.

1.5. Teorías relacionadas al tema

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas de la ceniza de madera [25], en su investigación sobre las potenciales aplicaciones de la ceniza de madera en el ámbito de la construcción, indican que su densidad aparente, el área de superficie específica, la finura, la gravedad específica, el contenido de humedad y la distribución del tamaño de partículas varían considerablemente según el tipo de madera o árbol de origen. No obstante, tras ser sometida a análisis en laboratorio, se ha determinado que la ceniza está compuesta por una variedad de elementos químicos, tales como Al, C, Ca, Cl, Fe, K, Mn, Na, S, Si y Ti, donde se destaca por su elevado contenido de cal y sílice, los cuales constituyen los componentes más abundantes en su estructura.

[26], en su estudio acerca del rendimiento de diferentes tipos de ceniza complementando al cemento, nos informa que al realizar una medición de asentamiento, se puede determinar la consistencia del concreto, identificando diversas variables que afectan la uniformidad de la mezcla, tras realizar el ensayo correspondiente con adiciones de entre 10% y 30% de WBA se demostró que utilizando el menor porcentaje (10%) se notaba una mejora en el asentamiento creando un concreto más trabajable, en contraste, al incrementar a un 20% y 30% el asentamiento del concreto disminuyó notablemente, lo que lo hizo menos trabajable, esto es porque la ceniza de madera es más tosca en comparación al cemento pero más fino que la arena empleada en la mezcla.

[27], llevaron a cabo un estudio comparativo del uso de cenizas de madera en pasta de cemento y concreto, reportaron que el tiempo de fraguado inicial para la mezcla control fue de 323 minutos, mientras que el fraguado final se produjo a los 397 minutos, reemplazando al cemento con un 10% de CM el tiempo aumentó a 373 y 448 minutos y finalmente con un 25% de reemplazo se mostró un tiempo de fraguado inicial más bajo que los anteriores y el final muy similar a la mezcla patrón. Estos resultados demuestran que la ceniza de madera posee propiedades puzolánicas e hidráulicas notables, con un índice puzolánico del 72.58% y un contenido de CaO del 11.77%, lo que también podría contribuir a mejorar la resistencia temprana del concreto.

[28], en su artículo de revisión sobre el uso de cenizas de fondo de madera, nos dan a conocer que se observó un incremento en la tasa de absorción de agua al aumentar la concentración de cenizas, aunque el aumento porcentual en la absorción de agua en el hormigón con CFM se mantuvo por debajo del

10%, se encontró que esta ceniza también provocaba un aumento en la absorción de agua por capilaridad y la medición de los valores del coeficiente oscilaron entre 20 y 40 g/dm²·h^{1/2}, superiores a los de la mezcla base, lo cual no es nada deseable para concretos de revestimiento, ya que estos valores elevados se deben a una pérdida de trabajabilidad. Adicional a esto se contribuye que el módulo de elasticidad sufre de una reducción al hacer uso de CFM en la mezcla.

En una investigación del uso de cenizas de madera de biomasa para producir concreto sostenible, los resultados mostraron que, al incorporar CM en la mezcla, el Limite Elástico Dinámico es ligeramente superior al patrón y a su vez reduce la viscosidad del concreto. Tras 200 horas de acumulación de calor, se registró una reducción del 16%, y también se evidenció una disminución del 65% en las emisiones de CO₂ durante el proceso de fabricación, en comparación con el concreto convencional. Esta reducción equivalió a una disminución de 10.32 kg/m³ de CO₂ respecto a la producción de concreto tradicional. [29]

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente artículo de revisión se consideró un método de análisis cualitativo-documental, para analizar y evaluar el empleo de cenizas de madera en el concreto y así conocer la influencia de este material en sus propiedades físicas y mecánicas. Se llevó a cabo una búsqueda selectiva y exhaustiva de la información correspondiente, entre artículos científicos e investigaciones. De los cuales se tomaron 50 en total que fueron extraídos de varias revistas provenientes de las mejores bases de datos, como lo son Scopus, ScienceDirect y EBSCO.

Base de datos	Año de publicación						Total
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Scopus	2	12	8	6	8		36
ScienceDirect			1		2		3
EBSCO	1						1

TABLA I. Distribución de artículos según su base de datos y año de publicación.

III. RESULTADOS

3.1. Características físicas y Composición química de la ceniza de madera

Respecto a las características físicas de la ceniza, [30] luego de realizar los ensayos correspondientes nos indica que la ceniza de madera analizada presenta una densidad de 2740 kg/m^3 , con un tamaño de partícula promedio de 150 a $230 \mu\text{m}$ de formas irregulares [31], que proporciona una absorción muy buena gracias a su superficie específica que es elevada [32].

Para la composición química de la ceniza de madera, [33] indica que los óxidos más abundantes son CaO, K₂O y MgO con 77.31%, 5.92% y 4.51% respectivamente. [34], complementa lo anterior afirmando que la CM contiene CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y MgO en mayores cantidades.

3.2. Propiedades físicas del concreto

DISEÑO	RESULTADOS	REFERENCIA
MP + 10% CM	El asentamiento fue mayor, aumentando la trabajabilidad en 10.42%.	[35]
MP + 20% CM	La absorción aumentó en 6.98%, destacando que a mayor porcentaje de CM mayor es la absorción.	[36]
MP + 5% CM	El peso unitario en estado fresco disminuyó en 0.5% y en estado endurecido 0.67%.	[37]
MP + 20% CM	El tiempo de fraguado inicial y final disminuyeron en 25.42% y 39.34% respectivamente.	[38]

TABLA II. Propiedades físicas del concreto.

3.3. Propiedades mecánicas del concreto

DISEÑO	RESULTADOS	REFERENCIA
MP + 8% CM	A los 28 días la resistencia a la compresión aumentó en un 9.04%.	[39]
MP + 8% CM	A los 28 días la resistencia a la tracción incrementó en 5.26%.	[40]
MP + 8% CM	5.96% incrementó la resistencia a la flexión a los 28 días de curado.	[39]

TABLA III. Propiedades mecánicas del concreto.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Luego de realizar los ensayos respectivos según lo normado, [26] demostró que al agregar 10% de CM el asentamiento de la mezcla era menor a la del patrón, sin embargo, [35] demuestra que al agregar la CM en porcentajes altos que sean mayores al 10% el asentamiento incrementaba lo que ocasiona que el concreto sea lo menos trabajable posible. De la misma forma ocurre con la absorción de agua, que mientras más CM se le agregue a la mezcla mayor es su absorción, [36] demuestra que todas sus mezclas con CM son superiores a su CP, aumentando en 6.98% con 20% de CM.

[39] Demuestra que agregándole 8% de CM al concreto, este aumenta su resistencia a la compresión en un 9.04% a sus 28 días de curado, así como también [30], incrementa en 4% al incorporar 10% de CM.

Respecto a la resistencia a la flexión, [39] reemplaza el cemento por 8% de CM resultando 5.96% mayor al CP y al sustituir con 10% de CM aumenta en 7.56% a los 28 días [40].

Y concerniente a la resistencia a la tracción, [40] utilizó 8% de CM en su diseño de mezcla resultándole 5.26% superior al CP, [39] también añadió el mismo porcentaje de CM incrementado dicha resistencia en 5.96%.

4.2. Conclusiones

Se concluye que al sustituir parcialmente el cemento por ceniza de madera puede influir beneficiosamente siempre y cuando se reemplace en porcentajes no mayores al 10%, ya que si utilizamos porcentajes superiores todas sus propiedades mecánicas tienen a resultar inferiores a lo requerido.

En las diferentes cenizas de madera analizadas, se encontraron principalmente CaO , K_2O y MgO en grandes cantidades, lo que determina que es un material altamente puzolánico.

Acorde a los ensayos realizados para determinar la resistencia a la compresión, flexión y tracción, todas las mezclas que contienen entre 8% y 10% de CM resultaron mayores al concreto base, sin embargo, las mezclas con mayores porcentajes a los ya mencionados resultaron desfavorables, no llegando a los valores esperados.

De esta forma se concluye que el porcentaje óptimo de reemplazo es de 8% de CM para que así todas las propiedades tanto físicas como mecánicas del concreto aumenten y sean muy favorables respecto a un concreto patrón sin adiciones de cenizas.

V. REFERENCIAS

- [1] V. Kannan y P. Raja, «Evaluation of the permeability of high strength concrete using metakaolin and wood ash as partial replacement for cement,» *SN Applied Sciences*, vol. 3, nº 90, p. 8, 2021.
- [2] A. Sharma, «Investigation of properties of concrete incorporating wood ash as partial substitute of cement and waste foundry sand as a partial substitute of sand,» *Materials Today: Proceedings*, p. 7, 2023.
- [3] D. De Souza, L. Antunes y L. Sanchez, «The evaluation of Wood Ash as a potential preventive measure against alkali-silica reaction induced expansion and deterioration,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 358, p. 14, 2022.
- [4] C. Rollakanti, V. Rama, K. Kumar, N. Juma y V. Arun, «An experimental investigation on mechanical properties of concrete by partial replacement of cement with wood ash and fine sea shell powder,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, p. 6, 2020.
- [5] K. Tamanna, S. Raman, M. Jamil y R. Hamid, «Utilization of wood waste ash in construction technology: A review,» *Construction and Building Materials*, vol. 237, nº 117654, p. 11, 2020.
- [6] J. Fořt, J. Šál, J. Žák y R. Černý, «Assessment of wood-based fly ash as alternative cement replacement,» *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, nº 22, p. 16, 2020.
- [7] J. Acordi, A. Luza, D. C. Fabris, F. Raupp-Pereira, A. De Noni y O. R. Montedo, «New waste-based supplementary cementitious materials: Mortars and concrete formulations,» *Construction and Building Materials*, vol. 240, nº 117877, p. 12, 2020.

- [8] N. Ristić, Z. Grdić, G. Topličić-ćurčić, D. Grdić y V. Dodevski, «Properties of self-compacting concrete produced with biomass wood ash,» *Tehnicki Vjesnik*, vol. 28, nº 2, p. 8, 2021.
- [9] M. R. Shaker, M. Bhalala, Q. Kargar y B. Chang, «Evaluation of alternative home-produced concrete strength with economic analysis,» *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, nº 17, p. 15, 2020.
- [10] Á. F. Do Couto, G. S. Ferreira Nogueira, G. F. Barreto Sandoval, N. Schwantes-Cezario y G. Morales, «Initial study of eucalyptus wood ash (EWA) as a mineral admixture in concrete,» *DYNA (Colombia)*, vol. 86, nº 208, p. 7, 2019.
- [11] K. Preethi, D. Ambika y S. Janani, «A preliminary study on production of roof tiles and paver blocks using wood and coal ash,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 1, p. 4, 2023.
- [12] I. Gabrijel, M. J. Rukavina y N. Štirmer, «Influence of wood fly ash on concrete properties through filling effect mechanism,» *Materials*, vol. 14, nº 23, p. 22, 2021.
- [13] V. Nader, E. Awwad, J. Wakim y L. B. Haya, «A study on cement-based mixes with partial wood bottom ash replacement,» *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, vol. 173, nº 1, p. 9, 2020.
- [14] R. Guerfi, M. Redda, H. Hebhou y G. Boukhatem, «Enhancing Self-Compacting Concrete Performance by Substituting Fine Limestone with Wood Ash,» *Annales de Chimie - Science des Matériaux (ACSM)*, vol. 47, nº 2, p. 9, 2023.
- [15] N. D. Muktar, F. N. A. A. Aziz, S. J. Mohd, M. N. Noorazline y S. Abdurashid, «Application of Wood Waste Ash in Concrete Making: Revisited,» *Global Civil Engineering Conference*, vol. 9, p. 10, 2019.

- [16] E. Giner Cordero y C. Paglia, «Wood waste ash Re-Use. Mechanical performance and durability for mortars,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 85, nº 47-50, p. 4, 2023.
- [17] E. T. Dawood, A. A. Al-Attar y O. S. Zinad, «The influence of wood ash on different cement mortar mixes,» *AIP Conference Proceedings*, vol. 2213, nº 020073, p. 10, 2020.
- [18] R. Rumman, M. R. Kamal, A. Bediwy y M. S. Alam, «Partially burnt wood fly ash characterization and its application in low-carbon mortar and concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 402, nº 132946, p. 18, 2023.
- [19] R. C. Amaral, A. B. Rohden, M. R. Garcez y J. J. d. O. Andrade, «Reuse of wood ash from biomass combustion in non-structural concrete: mechanical properties, durability, and eco-efficiency,» *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 24, nº 6, p. 16, 2022.
- [20] K. Arunkumar, M. Muthukannan, A. S. Kumar, A. Chithambar Ganesh y R. K. Devi, «Production of Eco-Friendly Geopolymer Concrete by using Waste Wood Ash for a Sustainable Environment,» *Pollution*, vol. 7, nº 4, p. 14, 2021.
- [21] J. A. Bhat, «Mechanical behaviour of self compacting concrete: Effect of wood ash and coal ash as partial cement replacement,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, p. 7, 2020.

- [22] S. Gupta, P. Krishnan, A. Kashani y H. W. Kua, «Application of biochar from coconut and wood waste to reduce shrinkage and improve physical properties of silica fume-cement mortar,» *Construction and Building Materials*, vol. 262, nº 120688, p. 15, 2020.
- [23] S. Kanmani, P. Umesha y P. Asha, «Behaviour of steel fibre reinforced concrete with wood ash as partial replacement,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 822, nº 012053, p. 6, 2021.
- [24] A. V. Thomas, K. P. Ramaswamy, A. Nair, R. Padmanabhan, T. K. Isac y V. Anilkumar, «Strength of concrete with wood ash and waste glass as partial replacement materials,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 491, nº 012040, p. 7, 2020.
- [25] I. Gabrijel, M. Skazlić y N. Štirmer, «Long-Term Behavior of Concrete Containing Wood Biomass Fly Ash,» *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, nº 24, 2022.
- [26] A. B. Ayobami, «Performance of wood bottom ash in cement-based applications and comparison with other selected ashes: Overview,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 166, nº 11, pp. 105-351, 2021.
- [27] B. D. Ikotun y A. A. Raheem, «The comparative study of using wood ash in lieu of fly ash in South African blended cement paste and mortar,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 85, pp. 1-4, 2023.
- [28] L. Celin, G. Baptista, G. De Castro, S. Neves, C. Fontes, A. Garcez y J. Alexandre, «Use of wood bottom ash in cementitious materials: a review,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 23, pp. 4226-4243, 2023.

- [29] L. Silvestro, T. P. Scolaro, A. S. Ruviaro, G. T. dos Santos Lima, P. J. P. Gleize y F. Pelisser, «Use of biomass wood ash to produce sustainable geopolymeric pastes,» *Construction and Building Materials*, vol. 370, nº 1, pp. 130-641, 2023.
- [30] N. M. Sigvardsen, M. R. Geiker y L. M. Ottosen, «Reaction mechanisms of wood ash for use as a partial cement replacement,» *Construction and Building Materials*, vol. 286, pp. 122-889, 2021.
- [31] R. Wang y P. Haller, «Applications of wood ash as a construction material in civil engineering: a review,» *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 1, p. 21, 2022.
- [32] R. Martínez-García, P. Jagadesh, O. Zaid, A. A. Şerbănoiu, F. J. Fraile-Fernández, J. Q. S. M. de Prado-Gil y C. M. Grădinaru, «The Present State of the Use of Waste Wood Ash as an Eco-Efficient Construction Material: A Review,» *Materials*, vol. 15, nº 15, p. 20, 2022.
- [33] T. G. L. Bikoko, «A cameroonian study on mixing concrete with wood ashes: Effects of 0-30% wood ashes as a substitute of cement on the strength of concretes,» *Revue des Composites et des Materiaux Avances*, vol. 31, nº 5, p. 8, 2021.
- [34] Z. Hamid y S. Rafiq, «A Comparative Study on Strength of Concrete Using Wood Ash as Partial Replacement of Cement,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 955, nº 1, 2020.
- [35] Z. Hamid y S. Rafiq, «An experimental study on behavior of wood ash in concrete as partial replacement of cement,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 3426-3429, 2020.

- [36] K. Vijay, K. Hari Babu y Y. Vidya Indrasena, «Effect of Wood-Ash as Partial Replacement to Cement on Performance of Concrete,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 796, nº 012020, p. 7, 2021.
- [37] S. C. Bostanci, «Utilisation of wood ash for environmentally friendly concrete production,» *Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 1, 2019.
- [38] E. E. Teker Ercan, L. Andreas, A. Cwirzen y K. Habermehl-Cwirzen, «Wood Ash as Sustainable Alternative Raw Material for the Production of Concrete—A Review,» *Materials*, vol. 16, nº 2557, p. 22, 2023.
- [39] J. García, G. Arriola, V. Luigi y M. Socrates, «Strength of Concrete Using Partial Addition of Residual Wood Ash with Respect to Cement,» *Revista Politecnica*, vol. 52, nº 1, pp. 45-54, 2023.
- [40] B. N. AL-Kharabsheh, M. M. Arbili, A. Majdi, J. Ahmad, A. F. Deifalla y A. Hakamy, «A Review on Strength and Durability Properties of Wooden Ash Based Concrete,» *Materials*, vol. 15, nº 7282, p. 24, 2022.