



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

Año: XIV Número: 1 Artículo no.:62 Período: 1 de septiembre al 31 de diciembre del 2026

TÍTULO: Aprovechamiento del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como estrategia sostenible en la producción de concreto: implicaciones ambientales y materiales.

AUTOR:

1. Dr. José Ignacio Anchondo Pérez.

RESUMEN: El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) representa un problema ambiental significativo en cuerpos de agua, afectando ecosistemas y actividades humanas. Este estudio evalúa el uso de ceniza de lirio acuático como adición a mezclas de concreto, con el objetivo de analizar su impacto en las propiedades fisicoquímicas y su potencial como alternativa sostenible. Se realizaron análisis por difracción de rayos X y pruebas microscópicas, incorporando ceniza en proporciones del 0.3% y del 0.5%. Los resultados muestran mejoras en la homogeneidad superficial y en la composición química del material, con incrementos de hasta un 15% en la uniformidad. Los hallazgos evidencian la viabilidad de revalorizar residuos biológicos en la construcción, lo que contribuye a prácticas más sostenibles y a la mitigación de problemas ambientales.

PALABRAS CLAVES: lirio acuático, concreto sostenible, ceniza vegetal, sustentabilidad, materiales de construcción.

TITLE: Use of the water lily (*Eichhornia crassipes*) as a sustainable strategy in concrete production: environmental and material implications.

AUTHOR:

1. PhD. José Ignacio Anchondo Pérez.

ABSTRACT: The water lily (*Eichhornia crassipes*) represents a significant environmental problem in water bodies, affecting ecosystems and human activities. This study evaluates the use of water lily ash as an addition to concrete mixtures, with the aim of analyzing its impact on physicochemical properties and its potential as a sustainable alternative. X-ray diffraction analysis and microscopic tests were performed, incorporating ash at 0.3% and 0.5%. The results show improvements in surface homogeneity and chemical composition, with up to a 15% increase in uniformity. The findings demonstrate the feasibility of revaluing biological waste in construction, contributing to more sustainable practices and mitigating environmental problems.

KEY WORDS: water lily, sustainable concrete, vegetable ash, sustainability, building materials.

INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, la búsqueda de materiales alternativos en la construcción ha cobrado relevancia, particularmente en el marco de la sostenibilidad, la economía circular y la gestión de residuos. Este interés responde a la necesidad de reducir el impacto ambiental asociado a la producción de materiales tradicionales, como el cemento, así como de aprovechar subproductos, que de otro modo, representarían un problema ambiental.

En ese sentido, la integración de tecnologías verdes en el entorno construido ha sido reconocida como una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad urbana, al promover soluciones que articulan innovación tecnológica y responsabilidad ambiental (Fanyi et al., 2021). En este contexto, la incorporación de cenizas provenientes de distintas fuentes como adiciones en mezclas de concreto ha mostrado resultados prometedores. Estudios como el de Srinivasan y Sathiya (2010) evidencian que la ceniza de bagazo puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto, lo que sugiere que el uso de residuos no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también optimiza el desempeño de los materiales de construcción.

En paralelo, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) se ha consolidado como una problemática ambiental significativa en diversos cuerpos de agua, especialmente en contextos tropicales y subtropicales. Su

crecimiento acelerado genera efectos negativos en los ecosistemas acuáticos, tales como la obstrucción de la luz solar, la disminución del oxígeno disuelto, y la afectación de las actividades productivas locales; no obstante, varias investigaciones recientes han comenzado a explorar su potencial como recurso aprovechable.

Stephen et al. (2017) analizaron la composición química de plantas acuáticas y señalaron que sus componentes pueden transformarse en cenizas con propiedades útiles para aplicaciones en la construcción. Esta perspectiva de revalorización se articula con estudios sobre el uso de cenizas en la producción de ladrillos sostenibles (Mukhtar et al., 2022) y en pavimentos de bajo tránsito (Rajkumar et al., 2016), lo que refuerza su viabilidad como material alternativo.

Aggarwal (2021) destaca la importancia de las plantas como recursos alternativos en distintos sectores productivos y plantea que su valorización puede abrir nuevas oportunidades en la industria de la construcción. En esta línea, Habsya et al. (2018) analizaron las propiedades físicas y mecánicas de concretos ligeros con ceniza de carbón, lo que proporcionó un marco relevante para comprender cómo la incorporación de estos materiales puede influir en el desempeño del concreto. Estos antecedentes permiten establecer una base conceptual sólida para explorar el uso de cenizas de origen vegetal, como las del lirio acuático, en la mejora de materiales de construcción.

Por otra parte, el desarrollo de tecnologías emergentes ha ampliado las posibilidades de diseño de concretos sostenibles. Investigaciones recientes han incorporado herramientas como el aprendizaje automático para optimizar la formulación de mezclas con menor impacto ambiental (Lavercombe et al., 2021), lo que sugiere que la inclusión de materiales alternativos no solo es viable, sino también susceptible de perfeccionarse mediante enfoques avanzados.

En esa línea, Javed et al. (2020) demuestran el uso de técnicas de modelación, como la programación genética y métodos de regresión, para predecir la resistencia a la compresión en concretos con cenizas, reforzando el potencial de estos materiales en aplicaciones estructurales. De manera complementaria,

Aimikhe y Lekia (2021) evidencian que el uso de subproductos naturales, como las conchas de caracol, constituyen una alternativa viable para su incorporación en materiales de construcción, contribuyendo a una lógica de aprovechamiento integral de los recursos.

En este mismo sentido, el uso de residuos agrícolas y acuáticos ha recibido una atención creciente debido a su potencial para mejorar la sostenibilidad de las prácticas constructivas. Investigaciones recientes han demostrado que materiales como los ladrillos de adobe estabilizados con residuos agroindustriales pueden mejorar significativamente sus propiedades mecánicas (Kumanan & Sofi, 2024).

En el contexto regional, estudios sobre vivienda vernácula han destacado la importancia de integrar enfoques de restauración sostenible que articulen conservación patrimonial y mejora de condiciones habitacionales, particularmente en zonas del noreste de México (Robles-Aranda et al., 2026); de manera similar, el estudio de plantas acuáticas como el tule (*Typha dominguensis*) y el lirio acuático han evidenciado su potencial para la generación de materiales constructivos ecológicos; por ejemplo, Romero, Onofre y Espíndola (2024) exploraron la deslignificación del tule para su uso en concreto “verde”, mientras que Cárdenas et al. (2023) analizaron la incorporación del lirio acuático en compuestos plásticos y concretos, destacando beneficios tanto mecánicos como ambientales. En conjunto, estos estudios subrayan la relevancia de estos materiales como alternativas viables para abordar las problemáticas de gestión de residuos y el agotamiento de recursos (Abelti, Teka, & Bultosa, 2023).

A partir de este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la incorporación de ceniza de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en las propiedades fisicoquímicas del concreto, mediante el análisis de su composición química y de la homogeneidad superficial.

Mediante técnicas de caracterización, como la difracción de rayos X y el análisis microscópico, se busca determinar la viabilidad de este material como adición sostenible, no solo en términos de desempeño técnico, sino también como estrategia para mitigar las problemáticas ambientales asociadas a la proliferación descontrolada del lirio acuático.

DESARROLLO.

Metodología.

Análisis de la ceniza.

La ceniza de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) se obtuvo mediante un proceso controlado de incineración de la biomasa, garantizando temperaturas adecuadas para lograr una combustión completa y minimizar la generación de compuestos nocivos. Posteriormente, el material resultante fue recolectado y sometido a un proceso de secado para eliminar la humedad residual, previo a su caracterización; para su análisis, se prepararon pastillas de ceniza mediante el pesaje preciso del material y su compactación en moldes de acero de alta precisión. Este proceso se realizó utilizando una microprensa, aplicando una presión nominal que permitió obtener una densidad adecuada y condiciones óptimas para el análisis posterior.

La caracterización composicional se llevó a cabo mediante difracción de rayos X (XRD), técnica que permite identificar y cuantificar las fases cristalinas presentes en la muestra. El procedimiento incluyó la obtención de patrones de difracción mediante la exposición de las muestras a radiación de rayos X, registrando la intensidad en función del ángulo de difracción; posteriormente, se realizó el refinamiento estructural y la determinación de parámetros cristalinos, lo que permitió identificar elementos relevantes como el calcio (Ca), el potasio (K), el manganeso (Mn) y el hierro (Fe), fundamentales para evaluar el potencial de la ceniza como adición en mezclas de concreto.

Preparación de especímenes de concreto.

Se elaboraron mezclas de concreto convencionales incorporando ceniza de lirio acuático en proporciones de 0.3% y 0.5% respecto al peso total. Las mezclas se diseñaron conforme a proporciones estándar empleadas en la industria de la construcción, utilizando cemento Portland, agregados finos y gruesos, agua, y la ceniza previamente caracterizada.

La homogeneización de los materiales se realizó mediante un mezclador mecánico, asegurando una distribución uniforme de los componentes; posteriormente, las mezclas fueron vertidas en moldes estandarizados y sometidas a un proceso de compactación para eliminar vacíos y garantizar la integridad estructural de los especímenes.

Los especímenes fueron curados durante un periodo de 28 días bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, con el fin de asegurar el desarrollo adecuado de las propiedades del concreto.

Análisis microscópico de superficie.

Una vez concluido el periodo de curado, se realizó el análisis de la superficie de los especímenes mediante microscopía. Cada muestra fue identificada, etiquetada y fotografiada a diferentes niveles de aumento, con el objetivo de capturar la textura superficial y detectar posibles defectos como microfisuras o irregularidades.

Las imágenes obtenidas fueron procesadas mediante el software ImageJ, que permite un análisis detallado de las características superficiales. A través de este programa, las imágenes fueron convertidas a formato binario, facilitando la identificación de contornos y la evaluación de la morfología superficial con mayor precisión.

Para cuantificar la rugosidad y heterogeneidad de las superficies, se empleó el método de conteo de cajas (box-counting), el cual permitió calcular la dimensión fractal de las muestras. Este indicador proporciona una medida numérica de la irregularidad superficial y resulta fundamental para analizar la calidad del material y su posible relación con las propiedades mecánicas del concreto.

Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó con el propósito de determinar la significancia de las diferencias observadas entre los especímenes con y sin adición de ceniza, y para ello, se aplicaron pruebas t de Student para comparar las medias de la dimensión fractal y de los indicadores de uniformidad superficial.

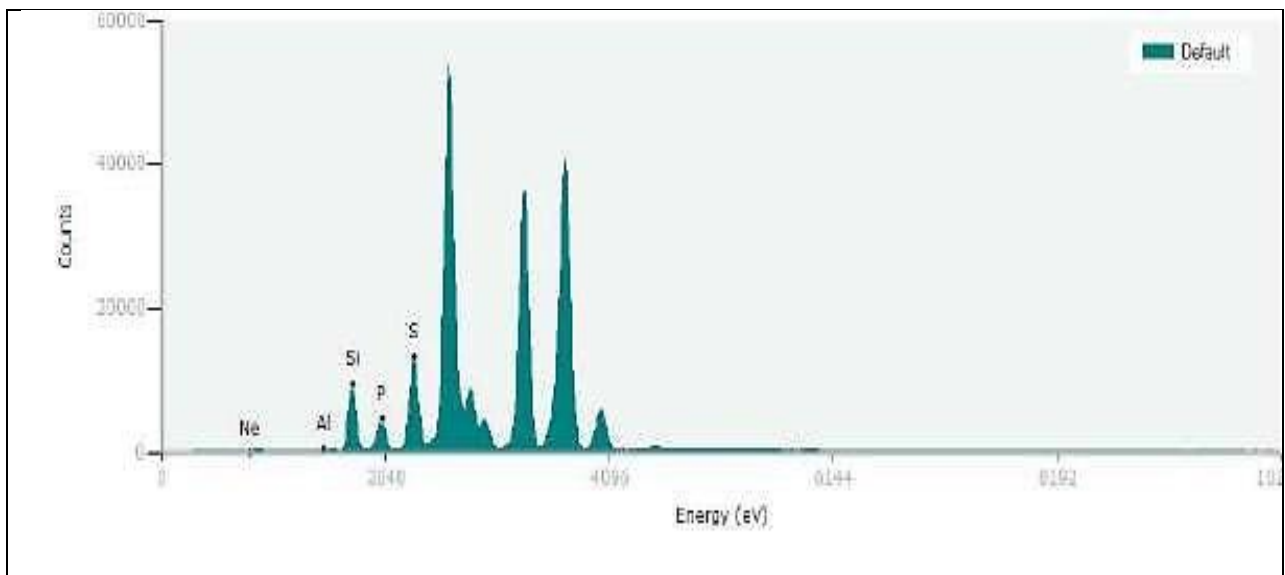
Los resultados se evaluaron con un nivel de confianza del 95%, lo que permitió validar estadísticamente las diferencias identificadas y sustentar las conclusiones del estudio.

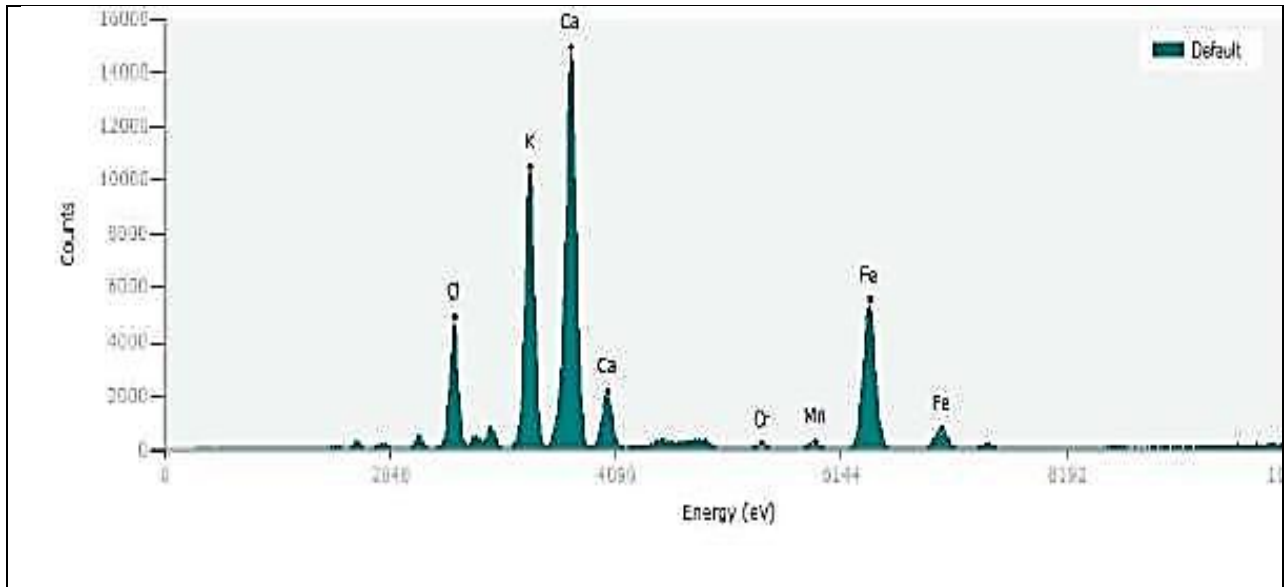
Resultados.

Análisis por difracción de rayos x (xrd).

El análisis por difracción de rayos X (XRD) permitió identificar la composición química de la ceniza de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), evidenciando la presencia predominante de calcio (Ca) y potasio (K), así como la detección de elementos en menor proporción como manganeso (Mn) y hierro (Fe). Como se observa en la Figura 1, los espectros obtenidos muestran picos bien definidos asociados a estos elementos, lo que confirma la naturaleza mineral de la ceniza y su potencial reactividad en matrices cementantes.

Figura 1. Barrido de elementos químicos presentes en la muestra de ceniza de nenúfar.





La presencia significativa de calcio y potasio resulta particularmente relevante, ya que estos elementos participan activamente en los procesos de hidratación del cemento y en la formación de compuestos cementantes secundarios. En este sentido, la composición identificada sugiere que la ceniza de lirio acuático no actúa únicamente como material inerte, sino como un componente con capacidad de interacción química dentro de la mezcla de concreto.

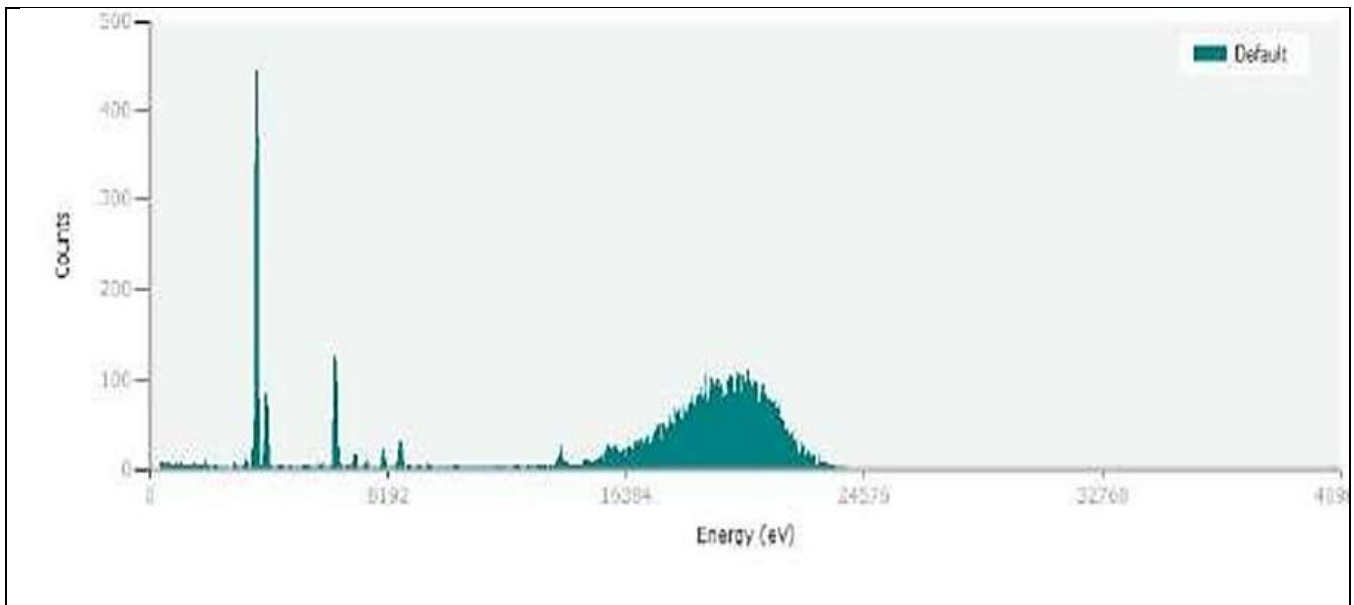
Al incorporar la ceniza en proporciones de 0.3% y 0.5%, se observó un incremento en la concentración de estos elementos en las muestras de concreto, lo cual sugiere una modificación en la microestructura del material. Este comportamiento se asocia con mejoras en propiedades térmicas y mecánicas, particularmente en términos de cohesión interna y estabilidad del sistema, lo que coincide con tendencias reportadas en estudios previos sobre el uso de cenizas como adiciones en concreto (Srinivasan & Sathiya, 2010).

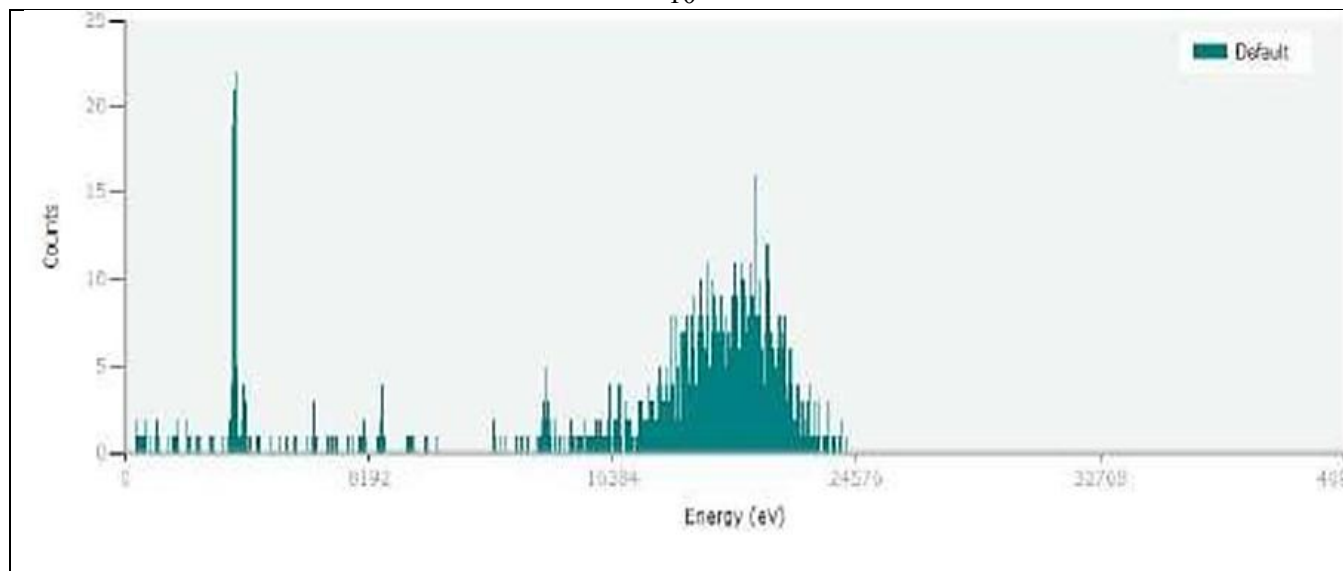
Desde una perspectiva fisicoquímica, los resultados indican que la ceniza puede participar en reacciones puzolánicas, favoreciendo la formación de compuestos adicionales que contribuyen a densificar la matriz cementante. Este proceso no solo mejora la integridad estructural del concreto, sino que también puede reducir la porosidad y aumentar la durabilidad del material a largo plazo.

En el marco de la sostenibilidad, estos hallazgos adquieren especial relevancia, ya que evidencian que un residuo vegetal considerado problemático desde el punto de vista ambiental puede ser transformado en un insumo funcional dentro de la industria de la construcción; de este modo, el aprovechamiento de la ceniza de lirio acuático no solo contribuye a mejorar el desempeño del concreto, sino que también representa una estrategia viable para la gestión de biomasa invasiva, alineándose con enfoques de economía circular y valorización de residuos.

La caracterización química de las muestras de concreto con adición de ceniza de lirio acuático evidenció modificaciones significativas en su composición elemental. Como se observa en la Figura 2, los espectros muestran un incremento en la intensidad de los picos asociados a elementos previamente identificados en la ceniza, en particular calcio (Ca) y potasio (K), así como la presencia de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en concentraciones detectables.

Figura 2. Barrido de elementos químicos en la muestra de concreto.





Este comportamiento confirma que la ceniza no solo se incorpora físicamente a la matriz del concreto, sino que también participa activamente en su configuración química. La transferencia de estos elementos hacia la matriz cementante sugiere la existencia de interacciones químicas que pueden modificar la estructura interna del material, favoreciendo procesos de densificación y cohesión.

El aumento en la concentración de calcio es especialmente relevante, dado su papel en la formación de productos de hidratación como los silicatos cálcicos hidratados (C-S-H), responsables en gran medida de la resistencia mecánica del concreto; por su parte, la presencia de potasio y otros metales puede influir en las propiedades térmicas y en la estabilidad química del sistema, contribuyendo a un mejor desempeño del material bajo condiciones de servicio.

Esos resultados permiten inferir, que la adición de ceniza podría inducir reacciones de tipo puzolánico, en las cuales los compuestos presentes en la ceniza reaccionan con los productos de hidratación del cemento, generando nuevas fases que mejoran la compactación de la matriz. Este fenómeno se asocia con una posible reducción de la porosidad y una mayor resistencia a procesos de degradación.

Desde una perspectiva aplicada, la modificación química observada en el concreto refuerza la viabilidad del uso de ceniza de lirio acuático como adición funcional, no solo por su contribución a las propiedades

mecánicas y térmicas, sino también por su papel en la optimización del comportamiento del material a nivel microestructural.

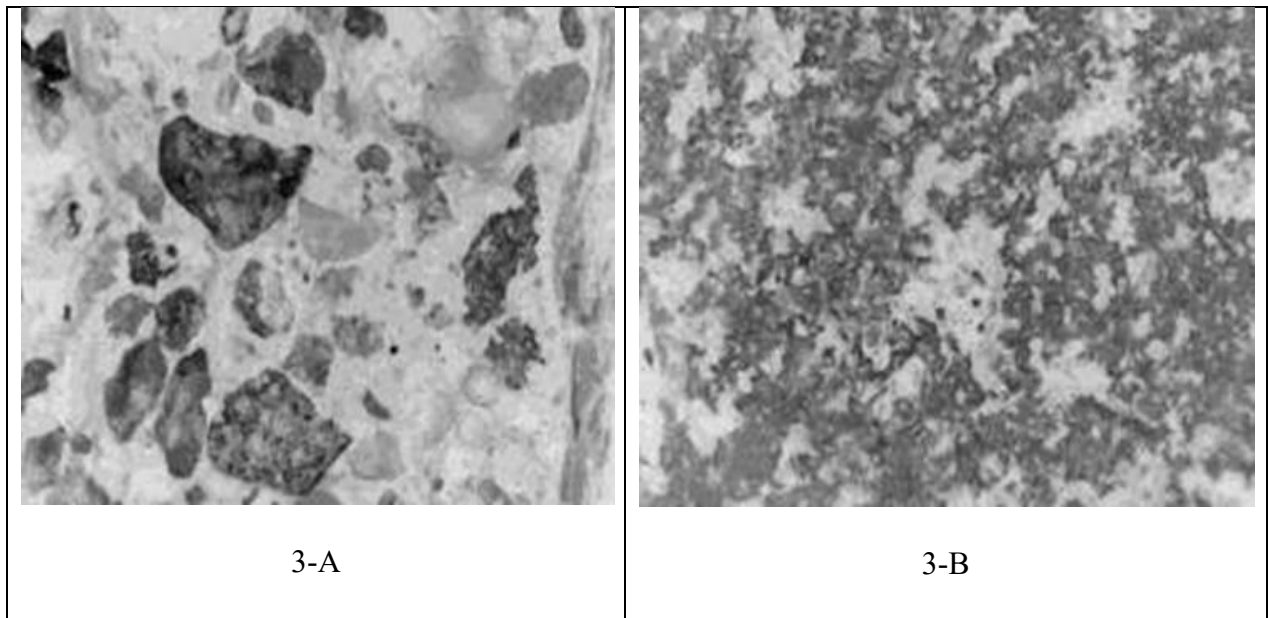
En términos de sostenibilidad, estos hallazgos son particularmente relevantes, ya que evidencian que un residuo de origen biológico puede integrarse de manera efectiva en sistemas constructivos, generando valor agregado y reduciendo la dependencia de insumos convencionales; de este modo, el aprovechamiento del lirio acuático se posiciona como una estrategia viable dentro de modelos de economía circular, al transformar un problema ambiental en una solución tecnológica con impacto en la industria de la construcción.

Análisis microscópico de superficie.

El análisis microscópico de la superficie de los especímenes permitió identificar diferencias significativas entre el concreto convencional y aquel modificado con ceniza de lirio acuático. Como se observa en la Figura 3-A, correspondiente a la muestra sin adición, la superficie presenta una distribución heterogénea, con presencia evidente de vacíos, discontinuidades y microfisuras, características típicas de matrices cementantes con menor grado de compactación.

En contraste, la Figura 3-B, correspondiente a la muestra con adición de ceniza, muestra una superficie notablemente más homogénea, con una distribución más uniforme de las fases y una reducción visible en la cantidad y tamaño de microdefectos. Esta mejora en la textura superficial sugiere una mayor densificación de la matriz, así como una mejor interacción entre los agregados y la pasta de cemento.

Figura 3. Imagen bmp, escala de grises para A) muestreo sin ceniza, b) muestreo con ceniza.



Estos resultados son consistentes con la caracterización química previamente presentada, donde se evidenció la incorporación activa de elementos provenientes de la ceniza en la matriz del concreto. La presencia de compuestos reactivos favorece procesos de relleno de poros y formación de fases adicionales, lo que contribuye a una estructura más compacta y estable.

Las observaciones coinciden con lo reportado por Habsya et al. (2018), quienes señalan que la incorporación de materiales con base en cenizas puede modificar favorablemente la estructura del concreto y contribuir a mejorar su comportamiento físico y mecánico. Este efecto puede atribuirse a la capacidad de estos materiales para densificar la matriz cementante, reduciendo la porosidad y limitando la propagación de microfisuras.

Desde una perspectiva mecánica, la reducción de defectos superficiales observada en las muestras con ceniza es un indicador indirecto de mejora en propiedades como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Una estructura más uniforme y menos porosa tiende a presentar un mejor comportamiento frente a esfuerzos mecánicos y agentes de deterioro.

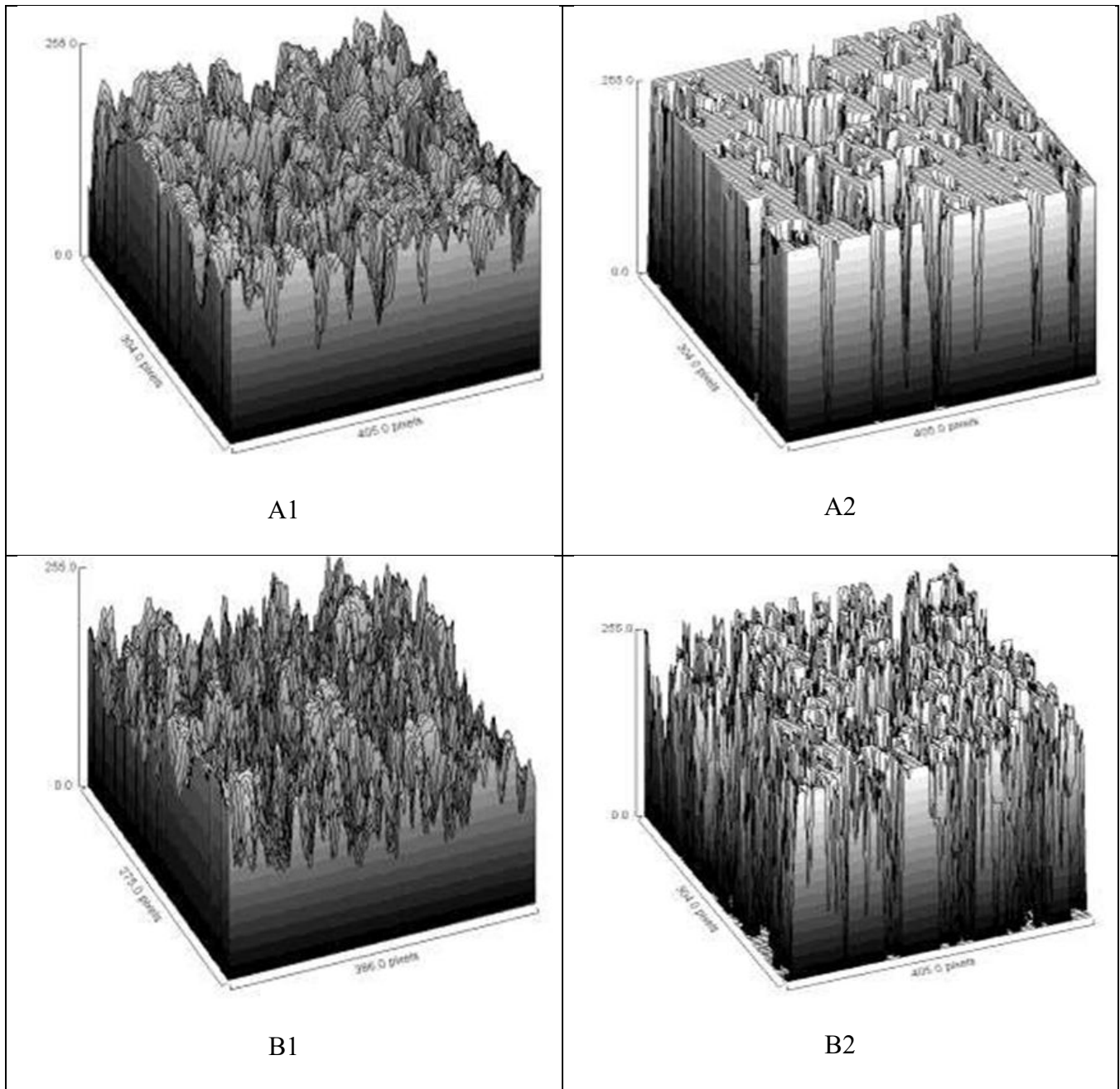
En términos de sostenibilidad, la mejora en la calidad microestructural del concreto mediante la incorporación de ceniza de lirio acuático refuerza su potencial como material alternativo en la construcción. La posibilidad de transformar un residuo vegetal invasivo en un insumo que mejora el desempeño del concreto no solo aporta beneficios técnicos, sino que también contribuye a estrategias de gestión ambiental y aprovechamiento de recursos, alineándose con enfoques contemporáneos de construcción sostenible.

El análisis cuantitativo de la morfología superficial mediante el cálculo de la dimensión fractal permitió corroborar las diferencias observadas en la caracterización microscópica. Los resultados indican que los especímenes con adición de ceniza de lirio acuático presentan una dimensión fractal de 1.7858, en contraste con el valor de 1.6346 obtenido para el concreto convencional sin adición.

Este incremento en la dimensión fractal refleja una mayor complejidad geométrica de la superficie, asociada a una distribución más uniforme de las partículas y a una reducción en la heterogeneidad estructural. En términos físicos, este comportamiento puede interpretarse como una evidencia de mejor compactación de la matriz cementante, así como de una menor presencia de vacíos y discontinuidades internas.

La Figura 4 permite visualizar estas diferencias a través de la representación tridimensional de la superficie. En las imágenes correspondientes a los especímenes sin ceniza (A1 y A2), se observa una topografía más irregular, con variaciones abruptas en altura que evidencian zonas de mayor porosidad y discontinuidad; por el contrario, en los especímenes con ceniza (B1 y B2), la superficie presenta una distribución más homogénea, con una textura más continua y una reducción en la amplitud de las irregularidades.

Figura 4. Representación superficial mediante análisis de imágenes para muestras sin ceniza (A1 y A2) y con ceniza (B1 y B2).



Estos resultados confirman que la incorporación de ceniza favorece procesos de reorganización interna del material, promoviendo una mejor distribución de los componentes y una mayor densificación de la matriz. Desde el punto de vista mecánico, esta condición es altamente favorable, ya que una menor

porosidad y una estructura más uniforme tienden a incrementar la resistencia a la compresión y a reducir la susceptibilidad a la propagación de grietas.

La mejora en la homogeneidad superficial observada a través del análisis fractal se alinea con los resultados obtenidos en la caracterización química y microscópica, lo que refuerza la consistencia interna del estudio. La interacción entre los elementos presentes en la ceniza y la matriz cementante no solo modifica la composición del material, sino que también incide directamente en su configuración estructural a diferentes escalas.

Desde una perspectiva de durabilidad, una superficie con mayor uniformidad y menor presencia de defectos implica una mayor resistencia frente a agentes externos, como humedad, cambios térmicos o procesos de deterioro químico. En este sentido, la dimensión fractal se posiciona como un indicador relevante para evaluar el desempeño a largo plazo del concreto modificado.

Finalmente, estos hallazgos adquieren una relevancia adicional en el contexto de la sostenibilidad, ya que demuestran que el aprovechamiento de un residuo vegetal invasivo no solo es viable, sino que puede traducirse en mejoras tangibles en la calidad del material. La reducción de porosidad y el aumento en la estabilidad estructural del concreto contribuyen a prolongar su vida útil, lo que a su vez implica una disminución en la demanda de recursos y en el impacto ambiental asociado a la producción y mantenimiento de infraestructuras.

Integración de resultados y relevancia sostenible.

Los resultados evidencian una relación consistente entre la composición química derivada de la incorporación de ceniza de lirio acuático y el comportamiento del concreto. El incremento de elementos como calcio, potasio, manganeso y hierro sugiere la activación de reacciones puzolánicas que favorecen la densificación de la matriz y una mayor cohesión interna, con efectos positivos en sus propiedades mecánicas.

Los análisis microscópicos y de dimensión fractal confirman una reducción en la porosidad y en la presencia de microfisuras, así como una distribución más homogénea de los componentes. Estas características contribuyen a mejorar la estabilidad estructural y la durabilidad del material.

Desde una perspectiva ambiental, el aprovechamiento de la ceniza de lirio acuático representa una alternativa sostenible, al transformar un residuo invasivo en un recurso útil para la construcción, reduciendo la dependencia de materiales convencionales y el impacto asociado a su disposición.

CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos confirman que la incorporación de ceniza de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en mezclas de concreto constituye una alternativa viable desde el punto de vista técnico y ambiental. Los análisis por difracción de rayos X y microscopía evidencian que este material no solo se integra a la matriz cementante, sino que modifica su composición y estructura, favoreciendo procesos que contribuyen a la mejora del desempeño del concreto.

En términos microestructurales, la adición de ceniza permitió incrementar la homogeneidad superficial de los especímenes, alcanzando mejoras de hasta 15% en comparación con el concreto convencional. Este comportamiento, respaldado por el análisis de dimensión fractal, se asocia con una reducción en la porosidad y en la presencia de microfisuras, factores clave para el aumento de la resistencia mecánica y la durabilidad del material.

Se identificó un incremento en la concentración de elementos como calcio y potasio, los cuales desempeñan un papel fundamental en la formación de estructuras de hidratación más densas y estables. Este fenómeno sugiere que la ceniza actúa como un componente reactivo dentro del sistema, promoviendo condiciones favorables para el mejoramiento de propiedades térmicas y mecánicas del concreto.

Desde una perspectiva ambiental, el aprovechamiento del lirio acuático representa una estrategia innovadora para la gestión de biomasa invasiva, al transformar un residuo problemático en un recurso con valor agregado. Esta revalorización contribuye a reducir la presión sobre materiales convencionales y a

disminuir el impacto ambiental asociado a su disposición, alineándose con principios de sostenibilidad y economía circular en la industria de la construcción.

En conjunto, los hallazgos del estudio evidencian que la ceniza de lirio acuático no solo mejora las propiedades del concreto, sino que también ofrece una solución integral que articula desempeño técnico y responsabilidad ambiental, consolidándose como una alternativa pertinente para el desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles. Este enfoque posiciona el aprovechamiento del lirio acuático como una solución integral que articula innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Abelti, A. L., Teka, T. A., & Bultosa, G. (2023). Review on edible water lilies and lotus: Future food, nutrition and their health benefits. *Applied Food Research*, 3(1), 100264. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100264>.
2. Aggarwal, S. (2021, February). Indian dye yielding plants: Efforts and opportunities. In *Natural Resources Forum* (Vol. 45, No. 1, pp. 63-86). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12214>.
3. Aimikhe, V. J., & Lekia, G. B. (2021). An Overview of the Applications of Periwinkle (*Tympanotonus fuscatus*) Shells. *British Journal of Applied Science & Technology*, 40(18), 31-58. <https://hal.science/hal-05242995v1>.
4. Cárdenas, A. R. S., Ramirez, T. L., Zamudio, L. M., & Kharissova, O. (2023). Elaboración de Madera Plásticaa base de Polipropileno Reciclado y Lirio Acuático (*Eichhornia Crassipes*) con Modificador Interfacial. *Quimica Hoy*, 12(04), 13-17. <https://doi.org/10.29105/qh12.04-356>.
5. Fanyi, L., Lili, D., Yuan, C., & Yuanyuan, L. (2021). Exploration on Landscape Reconstruction Design of Old Residential Communities Embedded with Green Technology Based on Smoke-Free

Environment: Regarding Shangdatianwan Central District in Yuzhong District of Chongqing a Case.

Tobacco Regulatory Science, 7(6), 5130-5150. <http://tobreg.org/index.php/journal>.

6. Habsya, C., Diharjo, K., Setyono, P., & Satwiko, P. (2018, September). Physical, mechanical and thermal properties of lightweight foamed concrete with fly ash. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 420, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012062>.
7. Javed, M. F., Amin, M. N., Shah, M. I., Khan, K., Iftikhar, B., Farooq, F., ... & Alabduljabbar, H. (2020). Applications of gene expression programming and regression techniques for estimating compressive strength of bagasse ash based concrete. Crystals, 10(9), 737. <https://doi.org/10.3390/cryst10090737>.
8. Kumanan, T. S., & Sofi, A. (2024). A review of mechanical properties of clay adobe bricks stabilized with Agro-wastes and varied water-clay proportions. Innovative Infrastructure Solutions, 9(9), 338. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01656-6>.
9. Lavercombe, A., Huang, X., & Kaewunruen, S. (2021). Machine Learning Application to Eco-Friendly Concrete Design for Decarbonisation. Sustainability, 13(24), 13663. <https://doi.org/10.3390/su132413663>.
10. Mukhtar, A., Qazi, A. U., Khan, Q. S., Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., & Hameed, A. (2022). Feasibility of Using Coal Ash for the Production of Sustainable Bricks. Sustainability, 14(11), 6692. <https://doi.org/10.3390/su14116692>.
11. Rajkumar, P. R., Krishnan, K. D., Ravichandran, P. T., & Harini, T. A. (2016). Study on the use of bagasse ash paver blocks in low volume traffic road pavement. Indian Journal of Science and Technology, 9(5), 1-6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i5/87256>.
12. Robles-Aranda, M. E., Aranda-Jiménez, Y. G., Zúñiga-Leal, C., & Reyna-Castillo, M. (2026). Aproximación diagnóstica y restauración sostenible de viviendas de Adobe en Tula, Tamaulipas:

preservación del patrimonio habitacional del noreste de México. Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores, 13(2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v13i2.4854>.

13. Romero, R. G., Onofre, E., & Espíndola, A. C. (2024, February). Delignification and characterization of Tule (*Typha Domingensis*) for its potential use in the production of green concrete. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2699, No. 1, p. 012002). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2699/1/012002>.
14. Srinivasan, R., & Sathiya, K. (2010). Experimental study on bagasse ash in concrete. International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship, 5(2), 60-66. <https://doi.org/10.24908/ijsle.v5i2.2992>.
15. Stephen, E. C., Adebisi, A. K., Chinedu, I., & Samuel, A. A. (2017). Chemical composition of Water lily (*Nymphaea lotus*) bulbs. Am. J. Food Sci. Nutr, 4(2), 7-12. <https://ankhclave.org/2024/09/11/chemical-composition-of-water-lily-nymphaea-lotus-bulbs/>.

DATOS DEL AUTOR.

1. **José Ignacio Anchondo Pérez.** Doctor en Arquitectura. Profesor e investigador de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Correo electrónico: ianchondo@docentes.uat.edu.mx

RECIBIDO: 4 de mayo del 2026.

APROBADO: 24 de mayo del 2026