

Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico: una revisión de la literatura

Ashes and fibers used in the elaboration of ecological concrete: a literary review

Yan Carlos Coronel Sánchez¹, Luis Fernando Altamirano Tocto², Sócrates Pedro Muñoz Pérez³

Recibido: 19/07/2021 - Aprobado: 09/12/2021 – Publicado: 30/06/2022

RESUMEN

Nuevas tecnologías constructivas y materiales son aplicados actualmente con más frecuencia en la búsqueda de mejoras de calidad, considerando el medio ambiente y la parte económica en la construcción. El objetivo del artículo es realizar una revisión sistemática sobre la utilización de las cenizas y fibras para la elaboración de concreto ecológico. Se revisaron 56 artículos indexados con una antigüedad de publicación de 7 años, desde el 2015 hasta el 2021, los cuales están distribuidos en las siguientes bases de datos 23 artículos en Scopus, 4 en EBSCO host, 9 en Scielo, 6 en Proquest, y 16 ScienceDirect, en los cuales se identificaron el uso de las cenizas como la cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar, cenizas volantes; y fibras como las de corteza de plátano, aserrín, acero, vidrio, polipropileno, caucho, y caucho granulado. En conclusión, se pudo verificar que son alternativas que permiten producir materiales y/o productos sostenibles empleando cenizas y fibras, las cuales son de suma importancia, ya que tienen características destacables como ser fuertes, livianas, económicas y ecológicas, en tanto se evidenció que las cenizas como las fibras influyen en la resistencia del concreto que van desde 231 hasta 700 kg/cm².

Palabras claves: cemento; cenizas; concreto ecológico; fibras; medio ambiente.

ABSTRACT

New construction technologies and materials are currently applied more frequently in the search for quality improvements, considering the environmental and economic aspects of construction. The objective of the article is to carry out a systematic review on the use of ashes and fibers for the elaboration of ecological concrete. 56 indexed articles were reviewed with a publication age of 7 years, from 2015 to 2021, which are distributed in the following databases 21 articles in Scopus, 4 in EBSCO host, 9 in Scielo, 6 in Proquest, and 16 ScienceDirect, in which the use of ashes such as rice husk, sugar cane bagasse, fly ash, and fibers such as banana bark, sawdust, steel, glass, polypropylene, rubber, and granulated rubber. In conclusion, it was possible to verify that there are alternatives that allow the production of sustainable materials and/or products using ashes and fibers, which are of great importance, since they have outstanding characteristics, such as being strong, light, economic and ecological, while it was evidenced that ashes and fibers influence the strength of concrete ranging from 231 to 700 kg/cm².

Keywords: cement; ashes; ecological concrete; fibers; environment.

1 Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo-Lambayeque, Perú.

E-mail: csanchezyancarl@crece.uss.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7521-7672>

2 Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo-Lambayeque, Perú.

E-mail: atoctoluisferna@crece.uss.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9126-8787>

3 Maestro en Ciencias de la Tierra con mención en Geotecnia, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo-Lambayeque, Perú.

E-mail: msocrates@crece.uss.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

I. INTRODUCCIÓN

El problema de la acumulación de desechos se produce a nivel mundial y se ha vuelto en una preocupación en la sociedad actual originando enormes daños ambientales, así se tiene que para producir cemento como compuesto químico se genera CO₂ altamente contaminante (Kothari et al., 2020). Una de las posibilidades para reducir su impacto ambiental es la reutilización de estos residuos en nuevos materiales (Ozdemir & Kocak, 2020).

Actualmente el sector construcción está enfrentando una grave crisis de consumo de recursos naturales y energía, mientras que el costo del cemento sigue aumentando (Macanjo Ferreira et al., 2020). La producción de cemento implica la emisión de grandes cantidades de CO₂ (Amran et al., 2021). Por ello, se está pensando en reemplazar el cemento por residuos para reducir el consumo de energía, de manera que esta sea amigable con el medio ambiente (Campos Teixeira et al., 2020). Es necesario reducir los impactos ambientales provocados por la producción de concreto para convertirlo en un material más sostenible (Xiao Sun, 2021). El uso de cenizas y fibras recicladas para reemplazar parcialmente el cemento son alternativas que pueden hacer del concreto un material con menor carga contaminante, económica y social asociada a su producción (Kristiawan et al., 2019). En esa misma línea, el alto costo y el suministro limitado de la arena de sílice especial utilizada como único agregado en mezclas de concreto han limitado su uso generalizado (Wang et al., 2019), ante ello, estudios recientes han demostrado que se puede utilizar las cenizas volantes como reemplazo del componente cementante en mezclas, sin causar ningún efecto perjudicial, sino que por el contrario se observó que mejoró sus propiedades mecánicas (Uysal et al., 2018). De esta manera se busca ahorrar los recursos naturales, reducir la contaminación y aumentar la eficiencia energética, por lo que las cenizas son una buena alternativa (Premkumar et al., 2020), (Yuan Li et al., 2018).

Últimamente se ha incrementado el empleo de fibras para reforzar los materiales de construcción, porque tienen muchas características favorables tales como ser fuertes, livianas, económicas y ecológicas (Ortega Sánchez & Gil, 2019), (Cardinale et al., 2021). En las últimas décadas la ingeniería ha iniciado con el tratamiento y estudio de compuestos orgánicos como las fibras naturales disponibles en diferentes lugares del planeta, extraídas de plantas como el bambú, algodón, la cabuya, plátano, caña de azúcar, balsa, abacá, caucho, entre otros (Fernández-Cortés et al., 2020), (Li et al., 2018), (Hena-Santa & Ibarra-Vargas, 2020). Así se han obtenido resultados que presentaron buenas correlaciones entre las diferentes investigaciones experimentales y los previstos.

Mejorar la sustentabilidad de las estructuras de concreto a partir del uso de fibras es vital, a la misma vez que se busca reducir los costes de construcción y el impacto ambiental tales como CO₂ y consumo de energía (Muthusamy Kavitha et al., 2020). Las nuevas tecnologías constructivas y materiales son aplicados actualmente con más frecuencia en la búsqueda de mejoras de calidad, considerando siempre la parte ecológica y económica en la construcción (Camargo et al., 2020). La utilización de

materiales naturales en general para la elaboración del concreto es una alternativa positiva para la optimización y disminución considerable de los recursos (Praveenkumar & Sankarasubramanian, 2020), durante el proceso de fabricación de materiales comúnmente utilizados como el cemento (Grădinaru et al., 2019), (Ashour et al., 2021).

El objeto de esta indagación es revisar sistemáticamente en la literatura sobre cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico. Para ello, se efectuó una búsqueda de artículos de revisión y científicos tal como se detalla en el apartado siguiente.

II. MÉTODOS

Se llevó a cabo una búsqueda de artículos para el período comprendido entre 2015-2021 en diferentes bases de datos tales como: Scopus, EBSCOhost, Scielo, ProQuest y ScienceDirect; de esta manera se recopilaron 55 investigaciones que emplearon cenizas y fibras para la elaboración de concreto. Para esta investigación se emplearon palabras claves como: cemento concreto ecológico *cement ecological concrete*, concreto ecológico *ecological concrete*, uso de las cenizas en el concreto *use of ash in concrete*, uso de las fibras en el concreto ecológico *use of fibers in ecological concrete*. En la fuente de Scopus se realizó la búsqueda con las palabras claves *cement ecological concrete* encontrándose alrededor de 367 artículos, luego se filtró la información quedando 88 artículos, de los cuales se utilizaron 21. También en EBSCO host se realizó la búsqueda con las palabras claves *ecological concretes* se obtuvieron 150 artículos, luego se filtró la información reduciéndose a 35 artículos, de los cuales se utilizaron 4. A demás en Scielo se buscó con la siguiente palabra clave *use of ash in concrete*, se obtuvo 34 artículos, luego se filtró la información quedando 31 artículos, de los cuales se utilizaron 9 artículos. ProQuest es una base de datos en donde se buscó con las palabras claves *ecological concrete* se obtuvo 54 453 artículos, pero al aplicar el filtro se redujo a 12 artículos, de los cuales se utilizaron 6 artículos. Y en ScienceDirect se buscó con las palabras claves *use of fibers in ecological concrete* apareciendo 3051 artículos, y al pasar el filtro se redujo a 291 artículos, donde se escogieron 16 artículos. En las tablas 1-2 se presenta la distribución de artículos referenciados de acuerdo con las bases de datos, año de publicación y filtros aplicados:

III. RESULTADOS

3.1 Cenizas naturales e industriales utilizadas para la elaboración de concreto ecológico

En el contexto del uso de cenizas naturales para producir un concreto ecológico (Shanmuga Priya et al., 2020) analizaron los efectos de refuerzo del óxido de grafeno GO, en un concreto de alta resistencia HSC elaborado con y sin cenizas de cascara de arroz RHA, para ello reemplazaron el cemento con 10% de RHA en peso y agregado GO en proporciones de 0.025, 0.050, 0.075 y 0.1% del peso de cemento; logrando obtener el rendimiento óptimo en términos de propiedades mecánicas y de durabilidad, mediante una combinación del 10% de RHA y 0.075% de

Tabla 1. Distribución de artículos referenciados de acuerdo con el año y base de datos

Fuente	Año de publicación							Total
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Scopus	--	--	4	2	3	10	4	23
EBSCOhost	--	--	--	1	2	--	1	4
Scielo	1	1	1	1	--	3	2	9
ProQuest	1	--	--	2	1	1	1	6
ScienceDirect	1	--	2	3	3	5	2	16
Total	3	1	7	9	9	19	10	58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Resultados de la búsqueda de artículos aplicando filtros

Base de datos	Año de publicación	Palabras claves	Resultados de la búsqueda	Filtros aplicados	Resultados después de aplicar filtros	Artículos seleccionados
Scopus	2015-2021	Cement ecological concrete.	367	Engineering, Materials Science, All Open Access	88	23
EBSCO host	2015-2021	Ecological concrete.	150	Texto completo	35	4
Scielo	2015-2021	use of ash in concrete	34	Engineering, Materials	31	9
ProQuest	2015-2021	Ecological concrete	54 453	Revistas científicas, sustainability, sustainable development, environmental impact, Artículo principal, Sustainability, construction	12	6
ScienceDirect	2015-2020	use of fibers in ecological concrete	3 051	Review articles, Environmental Science Engineering, Materials Science	291	16

Fuente: Elaboración propia

GO. (Vidaud Quintana, 2016), empleó fibras de acero con un 20% de cenizas de cascara de arroz (RHA), habiendo reemplazado parcialmente agregados y el cemento tipo I que utilizaron, para determinar sus propiedades mecánicas de un concreto fluido. Mounika et al. (2019) adicionaron RHA en reemplazo parcial del cemento en el concreto evidenciándose un impacto en la trabajabilidad, para un 5% de RHA y 25% GGBS (molido granulado de escoria de alto horno) por lo que es recomendable emplearlo de manera controlada para lograr su viabilidad (Ashour et al., 2021) en su estudio experimental del uso de la paja de arroz y escoria granulada de alto horno (GBFS) en un 30% de OPC por GBFS, con la finalidad de emplear GBFS lo máximo posible para mermar el impacto ambiental, si se hubiera utilizado un menor contenido de GBFS resultaría en aumento en la resistencia a la compresión ($F'c$) del concreto.

Por su parte, (Juárez-Alvarado et al., 2017), analizaron el comportamiento mecánico de mezclas cementantes reforzadas con cenizas volantes (CV) en reemplazo del 20%, 40% y 60% del cemento; donde para muestras cuya relación a/c fue de 0.60 y 20% de cenizas volantes, indicando que se mejoró las propiedades del concreto como la resistencia a la compresión, flexión (post agrietamiento) y el módulo de elasticidad. Côrtes Pires et al. (2017) al sustituir el metacaolín, el cual es un componente cementante, con cenizas volantes y cenizas de cascara de arroz en un 20% del volumen de las dos cenizas, medro aún más el desempeño del concreto. De manera unánime, diferentes investigaciones recomiendan emplear este tipo de materiales cementantes, como una opción, además, para

la producción de mezclas acordes con el cuidado del medio ambiente (Xiong et al., 2021).

En los últimos años se han venido empleando cenizas artificiales, como las producidas por la Central Termoeléctrica de Ilo (departamento de Moquegua-Perú), la misma que genera energía eléctrica a base de carbón, cuyos restos son las cenizas volantes, compuestos perjudiciales del ambiente; ante ello (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018), realizaron estudios experimentales donde adicionaron estas cenizas al cemento en proporciones del 15%, 10%, 5% y 2.5%, para roturas a los 90, 28, 14 y 7 días, así obtuvieron que la resistencia a compresión promedio del concreto fue de 221 kg/cm² a los 28 días, para la que se adicionó 5% se alcanzó 231 kg/cm², sin embargo, para la que se adicionó 15% se alcanzó 192 kg/cm². (Wojciech Kubissa et al., 2017), recomienda emplear cenizas volantes hasta un 10%, y en el caso de que sobrepase ese porcentaje, produciría una disminución en el $F'c$ resultando no ser favorable si se requiere obtener concretos con mejor resistencia.

Muchas de las veces las estructuras o elementos elaborados a base de concreto están expuestos a sustancias químicas, razón por la cual se los debe medrar. (Valencia-Saavedra et al., 2018), mejoraron la resistencia química de concretos de activación alcalina a partir de la incorporación de escorias de alto horno y cenizas volantes en proporción 80/20; habiéndose obtenido una mejor resistencia química del concreto y por consiguiente su mayor utilidad en zonas agresivas. (Raposeiro Da Silva & de Brito, 2015) al reemplazar el componente cementante en un 30%, 60%

Tabla 3. Cenizas naturales e industriales utilizadas en la elaboración de concreto ecológico

Tipo de ceniza	Tipo de cemento	Relación agua/cemento (a/c)	Porcentaje de cenizas en peso y/o volumen	Temperatura de quemado °C	Edad de curado (días)	F'c (kg/cm ²)	Referencia
Bagazo de caña de azúcar y piedra caliza	Cemento Portland Ordinario.	0.56	5% c/u	No tiene	28	303.87	(Bheel, Memon, et al., 2020)
Cáscara de arroz y ceniza volante	Cemento Portland Ordinario.	0.55	5% c/u	No tiene	28	321.21	(Bheel, Ali Jokhio, et al., 2020)
Cáscara de arroz.	Cemento Portland.	0.45	10%	No tiene	28	577.16	(Shanmuga Priya et al., 2020)
Cáscara de arroz.	Cemento Portland tipo I.	0.5	20%	No tiene	28	285.52	(Vidaud Quintana, 2016)
Ceniza volante.	Cemento Portland.	0.56	5%	No tiene	28	231.00	(Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018)
Ceniza volante.	Cemento Portland.	0.6	20%	No tiene	28	305.915	(Juárez-Alvarado et al., 2017)
Ceniza volante.	Cemento Portland Ordinario.	0.33	15%	No tiene	28	256.97	(Shariful Islam et al., 2020)
Cenizas volantes y escoria de alto horno.	Cemento Portland Ordinario.	0.48	26%	No tiene	28	437.46	(Valencia-Saavedra et al., 2018)
Escoria granulada de alto horno.	Cemento Portland Ordinario.	0.3	25%	no aplica	28	560.84	(Tawfeeq et al., 2020)

Fuente: Elaboración propia

y 70% por cenizas, contribuyo a retardar el avance de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante para edades tempranas, siendo por el contrario que a mayor edad esta mezcla logro resistencias superiores.

Cabe señalar que el $F'c$ es la resistencia a la compresión en kg/cm² y F_f es la resistencia a la flexión en kg/cm² del concreto, por ende, estos parámetros de medición que nos permiten comparar sus resistencias, con el de un concreto convencional en especial su $F'c$, que demandan las diferentes normativas para poder ser utilizados en elementos estructurales (ver Tabla 3).

3.2 Fibras naturales utilizadas para la elaboración de concreto ecológico

La utilización de fibras naturales para mejorar los materiales de construcción puede ser económicas y ecológicas, en ese sentido (Armas Ruiz et al., 2016), emplearon fibras de plátano reforzado con resina poliéster, en donde se realizaron ensayos de flexión y tracción, para los ensayos de flexión, se determinó la resistencia de flexión (F_f) que es de 597.55 kg/cm² y se llegó a considerar sus condiciones ideales de trabajabilidad. Ortega Sánchez et al. (2019), en la incorporación de fibras de aserrín en morteros sometidos a esfuerzos de compresión, para la cual se aplicaron porciones de aserrín en peso con 0.5%, 1.0% y 3.0%, así obtuvieron su densidad, resistencia y módulo de elasticidad, por lo que sugirieron emplear 1% de fibras de aserrín en morteros para equilibrar sus propiedades físicas y mecánicas de las mezclas. Loganathan & Thirugnanam (2018), en su estudio experimental se diseñaron mezclas de hormigón preparadas con un contenido óptimo de fibra y sin fibras se analizó

parámetros mecánicos y durabilidad del concreto híbrido (CA) mejorado con fibras de acero y fibras de banano, así mismo se obtuvo un aumento sustancial en la ductilidad y la absorción de energía. Asimismo, en el contexto de emplear fibras naturales para elaborar concreto ecológico, Paricaguán Morales & Muñoz Cuevas (2019), usaron fibras de bagazo de caña como sustituto del agregado fino a una proporción de 2.5% y una proporción a/c 0.48; empleando fibras largas de (5 a 6 cm) se obtuvo que la resistencia de la compresión es de 348.23 kg/cm².

3.3 Fibras artificiales utilizadas para la elaboración de concreto ecológico

Tal vez las más utilizadas de las fibras artificiales son importantes cuando estas son recicladas, en ese contexto (Farfán et al., 2018), en la reutilización de caucho reciclado analizaron la resistencia a flexión y compresión de una mezcla de concreto de 210 kg/cm², con muestras de 10% y 5% de caucho se alcanzó valores de resistencia de compresión 212 kg/cm² y 218.4 kg/cm², así mismo su resistencia a flexión alcanzo el máximo de 81.86 kg/cm² de la mezcla. Peláez Arroyave et al. (2017) realizaron una revisión literaria sobre la utilidad que se le puede dar al caucho reciclado, así refieren que las fibras de estos materiales que muchas de las veces son desechadas, pudiendo ser reutilizados en la elaboración de concretos, asfaltos y materiales aislantes para edificaciones livianas.

Respecto al impacto de los materiales, la dosificación y el curado en las propiedades mecánicas y térmicas del concreto, Carey et al. (2020) evaluaron los agregados finos y las fibras de acero en diferentes proporciones por lo cual

se ensayaron 400 muestras en las que determinaron sus propiedades mecánicas dentro de 4 regímenes de curado y 22 mezclas diferentes, obteniendo un $f'c$ de 232.50 kg/cm² luego de incorporar agregados finos y fibra de acero. Sanz-Díez de Ulzurrun Casals & Zanuy Sánchez (2017), en su investigación se realizaron ensayos de mezclas adicionando fibras con proporciones de 0.5% y 1.0% en donde se sometieron a ensayos de resistencia medias a compresión y a tracción indirectas obteniendo la tensión equivalente y energía de fractura.

Por su parte, Awoyera et al. (2021), estudiaron las propiedades del concreto elaborado con desechos cerámicos y fibras plásticas donde se elaboró mezclas en la cual su relación a/c osciló entre 0.6 y 0.7 en la cual se obtuvo un asentamiento 60 mm e incorporando fibras plásticas en 2.5% dio el valor de asentamiento bajo de 15mm se puede observar que al incorporar fibras plásticas y residuos cerámicos presenta bajos asentamientos. Generosi et al. (2020), en su investigación analizaron el comportamiento a tracción de un concreto reforzado con fibra metálicas donde se variaron las cantidades de fibra 0% a 2.6% en volumen en la cual la fibra influyó en la resistencia a la tracción del material. En esa misma línea de investigación, Akbari & Abed (2020), adicionaron 0.3%, 0.6% y 0.9% en volumen en fracción de acero y fibra de vidrio en mezclas de concreto con relación a/c de 0.35 y 0.45 demostrando que la adición de 0.3% y 0.9% permitió aumentar constantemente la resistencia a la flexión, compresión y tensión respecto al concreto simple.

Donde $F'c$ es la resistencia a la compresión en kg/cm² y F_f es la resistencia a la flexión en kg/cm² del concreto (ver Tabla 4).

3.4 Otras alternativas utilizadas para la elaboración de concreto ecológico

Los compuestos cementosos de ingeniería (CCI) tienen excelentes propiedades mecánicas que pueden ser aplicados en construcciones y en reparaciones, bajo esa perspectiva, Adeyemi & Sreekanta (2020), evaluaron la durabilidad, la contracción y permeabilidad, cuyos resultados demostraron que al usar concreto reciclado como agregado hasta un 100% por reemplazo de la arena redujo hasta un 40% la contracción por secado, aumentando en 34% la absorción del agua, en un 28% los huecos permeables, y 19% la penetración de iones de cloruro, además Rodríguez Rubio et al. (2018) manifiestan que las mezclas que utilizan concreto reciclado como agregado son sostenibles y económicos.

Por otro lado, el concreto ecológico podría utilizarse para la fabricación de bloques ecológicos, Ulloa-Mayorga et al. (2018) evaluaron la influencia de la adición de agregados reciclados obtenidos de edificaciones demolidas, empleándose agregados de 1/2" y 3/8" para la elaboración de concreto, obteniéndose un módulo de rotura y resistencia a compresión de 21.82 kg/cm² y 59.05 kg/cm². Finalmente, Pajuelo Amez & Pómez Montiel (2015) realizaron un análisis experimental a partir de la comparación de un

Tabla 4. Fibras naturales y artificiales utilizadas en la elaboración de concreto ecológico

Tipo de fibras	Tipo de cemento	Relación agua/cemento (a/c)	Porcentaje de fibra en peso y/o volumen	$F'c$ (kg/cm ²)	F_f (kg/cm ²)	Referencia
Acero.	Cemento Portland.	0.50	0.66%	375.00		(Alberti et al., 2020)
Acero.	Cemento Portland.	0.55	15%	232.50		(Carey et al., 2020)
Acero.	Cemento Portland.	0.20	2.6%	285.52		(Generosi et al., 2020)
Acero.	Cemento Portland.	0.42	5.0%	446.13		(Köroğlu, 2018)
Acero y vidrio.	Cemento Portland.	0.35	0.9%	542.79		(Akbari & Abed, 2020)
Aditivo + nanosílice.	Cemento Portland.	0.20	3%	619.00		(Pajuelo Amez & Pómez Montiel, 2015)
Bagazo de caña de azúcar.	Cemento Portland.	0.48	2.5%	348.23		(Paricaguán Morales & Muñoz Cuevas, 2019)
Carbono reciclado y caucho granulado.	Cemento Portland Ordinario.	0.40	1.5%	605.92		(Xiong et al., 2021)
Caucho.	Cemento Portland Tipo I.	0.48	20%	330.00		(Farfán et al., 2018)
Caucho y polipropileno.	Cemento Portland.	0.50	0.5%	305.92		(Shahjalal et al., 2021)
Corteza de plátano.	No se empleó.	No aplica	10%	-----	597.55	(Armas Ruiz et al., 2016)
Corteza de plátano.	Cemento Portland.	0.30	25.0%	-----	254.93	(Elbehiry et al., 2020)
Metales.	Cemento Portland Ordinario.	0.42	1.0%	560.84		(Sanz-Díez de Ulzurrun Casals & Zanuy Sánchez, 2017)
Plástico.	Cemento Portland.	0.30	20%	700.00		(Mejias Guevara & Águila Arboláez, 2018)
Polipropileno y polietileno.	Cemento Portland.	0.50	5%	-----	223.45	(Alvarado Bawab et al., 2018)
Polietileno.	Cemento Portland Ordinario.	0.50	2.5%	253.91		(Awoyera et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia

concreto de alta resistencia con uno convencional (en estado fresco y endurecido), así adicionaron fibras y cenizas con el que obtuvieron un concreto de alto desempeño, en suma, Karimipour & Ghalehnovi (2021) refieren que el concreto al ser uno de los materiales más empleados requiere acoplarse a las nuevas exigencias que hoy en día se solicitan, y a su vez que vaya a la par con el cuidado medio ambiental.

IV. DISCUSIÓN

Al comparar el empleo de cada tipo de ceniza, se puede discutir que para el caso de la ceniza de arroz según Shanmuga Priya et al. (2020) obtuvieron una relación a/c de 0.45, cuyo porcentaje utilizado fue 10% de ceniza de arroz en reemplazo del cemento, se obtuvo un $F'c$ 577.16 kg/cm² mientras que Vidaud Quintana (2016) encontró que con una relación a/c de 0.50 y un porcentaje del 20% del cemento, resultando un $F'c$ de 285.52 kg/cm². Tanto Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe (2018), Juárez-Alvarado et al. (2017), y Shariful Islam et al. (2020) emplearon la ceniza volante, al contrastar la información obtenida, resultó que a mayor porcentaje de uso de ceniza volante mayor es la resistencia que se puede lograr. Tawfeeq et al. (2020) emplearon escoria granulada de alto horno en un porcentaje del 25%, con una relación a/c de 0.3 resultando un $F'c$ 560.84 kg/cm².

Además, tenemos que cuando se utilizan dos tipos de cenizas como las empleadas por Bheel, Ali Jokhio, et al. (2020) con una relación a/c 0.55, con un porcentaje del 5% de cada ceniza y un $F'c$ de 321.21 kg/cm². Bheel, Memon, et al. (2020) utilizaron una relación a/c de 0.56 y un porcentaje del 5% cada ceniza, para obtener un $F'c$ de 303.87 kg/cm². Valencia-Saavedra et al. (2018) utilizaron una relación a/c de 0.48 y un porcentaje del 26%, para obtener un $F'c$ de 437.46 kg/cm².

También se discute para el caso de fibras de acero en el concreto, que los resultados obtenidos por los investigadores (Alberti et al., 2020), Generosi et al., 2020, Koroğlu, 2018), indican que a menor uso de fibras de acero se logra una mayor resistencia, siempre y cuando se emplee una correcta relación agua cemento de 0.42.

Tanto Armas Ruiz et al. (2016) como Elbehiry et al. (2020) coincidieron en utilizar la corteza de plátano como fibra para la elaboración de concreto, pero el que mejor resultado fue el de Armas Ruiz et al. (2016) al emplear el 10% de esta fibra presentó un F_f de 597.55 kg/cm².

Alvarado Bawab et al. (2018) emplearon polipropileno y polietileno como fibras, Shahjalal et al. (2021) hicieron uso de caucho y polipropileno, mientras que Mejias Guevara & Águila Arboláez (2018) utilizaron plásticos como fibras, por lo que, al comparar los resultados obtenidos por los autores antes mencionados, podemos afirmar que el que mejor resistencia presentó fue el que empleó fibras de plástico con un $F'c$ de 700kg/cm².

Diferentes investigaciones indican que, tanto las cenizas como las fibras utilizadas para el concreto son materiales reciclados que pueden reemplazar parcialmente al cemento o a los agregados finos y gruesos, minimizando

la utilización de materias primas, permitiendo la producción de un concreto que sea sostenible en otras palabras amigable con el medio ambiente, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas tales como su resistencia a la compresión y flexión buscando que estas sean comparables o mejores que las de un concreto convencional (Wojciech Kubissa et al., 2017). Sobre el aspecto económico estas mezclas elaboradas con cenizas y/o fibras nos permiten minimizar costos ya que al ser materiales de desecho no generan gasto alguno en la adquisición de estos productos, lo que involucra una menor utilización de materias primas que se vienen utilizando para la elaboración de un concreto convencional (Zieliński, 2017).

V. CONCLUSIONES

Tanto las cenizas como las fibras analizadas en las diferentes investigaciones permitieron mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto, como su resistencia a la compresión, ello a la par con el cuidado medio ambiental a partir del reciclaje y reutilización de estos materiales que son empleados en diferentes actividades productivas.

En relación con el empleo de la ceniza de cascara de arroz se identificó que para un porcentaje óptimo del 10% del cemento alcanzo un $F'c$ de 577.16 kg/cm², al reemplazar el 5% del cemento por ceniza de bagazo de caña se obtuvo un $F'c$ de 303.87kg/cm². Además, para las cenizas volantes y escoria de alto horno su óptimo porcentaje empleado es de 26% cuyo $F'c$ fue de 437.46 kg/cm² y por último tenemos que el $F'c$ para las escorias granuladas de alto horno fue de 560.84 kg/cm² con un 25% del cemento.

Entre las fibras utilizadas en la elaboración del concreto se ha identificado que las que presentaron buenos resultados son la corteza de plátano el cual al añadir un 10% del cemento se obtuvo una F_f de 597.55kg/cm², también tenemos a la fibra de bagazo de caña cuyo $F'c$ fue de 348.23 kg/cm² para un porcentaje de 2.5%, para las fibras de acero y de vidrio se obtuvo un $F'c$ de 542.79 kg/cm² para un porcentaje de 0.9%, y para fibras de plástico se alcanzó un $F'c$ igual a 700 kg/cm² siendo el porcentaje óptimo de 20%.

El empleo de una fibra para reforzar un material dependerá de los parámetros de diseño requeridos, de acuerdo con la dosificación, longitud de fibra y de los parámetros de las mismas que brindan al concreto propiedades particulares, así se evidencian más unas propiedades sobre otras, de acuerdo a las diferentes aplicaciones y usos del concreto reforzado.

VI. REFERENCIAS

- Adeyemi, A., & Sreekanta, D. (2020). Evaluation of the Durability Properties of Engineered Cementitious Composites Incorporating Recycled Concrete as Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(2), 04020439. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003563](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003563)
- Akbari, J., & Abed, A. (2020). Experimental Evaluation of Effects of Steel and Glass Fibers on Engineering Properties of

- Concrete. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 14(54), 116–127. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.54.08>
- Alberti, M. G., Picazo, Á., Gálvez, J. C., & Enfedaque, A. (2020). New Methodological Approach towards a Complete Characterization of Structural Fiber Reinforced Concrete by Means of Mechanical Testing Procedures. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 4811, 10(14), 4811. <https://doi.org/10.3390/APP10144811>
- Alvarado Bawab, M. B., Vega, S., & Marín, J. (2018). Elaboración de bloques de concreto con agregados plásticos reciclados. *Revista Informador Técnico - Memorias Del IV Simposio de Materiales Poliméricos*, 82(2), 38–40. <https://doi.org/10.23850/22565035.v82.n2.2018>
- Amran, M., Fediuk, R., Murali, G., Vatin, N., Karelina, M., Ozbakkaloglu, T., Krishna, R. S., Kumar, A. S., Kumar, D. S., & Mishra, J. (2021). Rice Husk Ash-Based Concrete Composites: A Critical Review of Their Properties and Applications. *Crystals* 2021, Vol. 11, Page 168, 11(2), 168. <https://doi.org/10.3390/CRYST11020168>
- Armas Ruiz, D., Ruiz Galarza, S., Tulio Piován, M., & Carrión Matamoros, L. (2016). Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo. *Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering*, 20(1), 21–31. <https://www.redalyc.org/journal/614/61447568003/movil/>
- Ashour, T., Morsy, M., Korjenic, A., Fischer, H., Khalil, M., Sesto, E., Orabi, M., & Yehia, I. (2021). Engineering Parameters of Rice Straw Concrete with Granulated Blast Furnace Slag. *Energies* 2021, Vol. 14, Page 343, 14(2), 343. <https://doi.org/10.3390/EN14020343>
- Awoyera, P. O., Olalusi, O. B., & Iweriebo, N. (2021). Physical, strength, and microscale properties of plastic fiber-reinforced concrete containing fine ceramics particles. *Materialia*, 15, 100970. <https://doi.org/10.1016/J.MTLA.2020.100970>
- Bheel, N., Ali Jokhio, M., Ahmed Abbasi, J., Bux Lashari, H., Imran Qureshi, M., & Salam Qureshi, A. (2020). Rice Husk Ash and Fly Ash Effects on the Mechanical Properties of Concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(2), 5402–5405. <https://doi.org/10.48084/ETASR.3363>
- Bheel, N., Memon, A. S., Khaskheli, I. A., Talpur, N. M., Talpur, S. M., & Khanzada, M. A. (2020). Effect of sugarcane bagasse ash and lime stone fines on the mechanical properties of concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(2), 5534–5537. <https://doi.org/10.48084/ETASR.3434>
- Camargo, M. M., Taye, E. A., Roether, J. A., Redda, D. T., & Boccaccini, A. R. (2020). A Review on Natural Fiber-Reinforced Geopolymer and Cement-Based Composites. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 4603, 13(20), 4603. <https://doi.org/10.3390/MA13204603>
- Campos Teixeira, A. H., Ribeiro Soares Junior, P. R., Henrique Silva, T., Rodrigues Barreto, R., & da Silva Bezerra, A. C. (2020). Low-Carbon Concrete Based on Binary Biomass Ash–Silica Fume Binder to Produce Eco-Friendly Paving Blocks. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 1534, 13(7), 1534. <https://doi.org/10.3390/MA13071534>
- Cardinale, T., D'amato, M., Sulla, R., & Cardinale, N. (2021). Mechanical and Physical Characterization of Papercrete as New Eco-Friendly Construction Material. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 1011, 11(3), 1011. <https://doi.org/10.3390/APP11031011>
- Carey, A. S., Howard, I. L., Scott, D. A., Moser, R. D., Shannon, J., & Knizley, A. (2020). Impact of Materials, Proportioning, and Curing on Ultra- High-Performance Concrete Properties. *Materials Journal*, 117(1), 213–222. <https://doi.org/10.14359/51719076>
- Côrtes Pires, E. F., Campinho De Azevedo, C. M., Rocha Pimenta, A., José Da Silva, F., & Ibrahim Darwish, F. A. (2017). Fracture Properties of Geopolymer Concrete Based on Metakaolin, Fly Ash and Rice Rusk Ash. *Materials Research*, 20, 630–636. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0974>
- Vidaud Quintana, E. de J. (2016). Nuevas tendencias: uso de fibras metálicas y naturales como adición al concreto. *Construcción y Tecnología En Concreto*, 12–12. <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php/10-posibilidades-del-concreto/555-uso-de-fibras-metalicas-y-naturales-como-adicion-al-concreto>
- Elbehiry, A., Elnawawy, O., Kassem, M., Zaher, A., Uddin, N., & Mostafa, M. (2020). Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00361. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2020.E00361>
- Farfán, M., Leonardo, E., Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Recycled rubber in the compressive strength and bending of modified concrete with plasticizing admixture. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241–250. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000300241>
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., Vargas-Marín, L. A., Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93–110. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N1A7>
- Generosi, N., Donnini, J., & Corinaldesi, V. (2020). Characterization of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) Tensile Behaviour. *RILEM Bookseries*, 30, 1068–1078. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58482-5_94
- Grădinaru, C. M., Șerbănoiu, A. A., Babor, D. T., Sârbu, G. C., Petrescu-Mag, I. V., & Grădinaru, A. C. (2019). When Agricultural Waste Transforms into an Environmentally Friendly Material: The Case of Green Concrete as Alternative to Natural Resources Depletion. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 2019 32:1, 32(1), 77–93. <https://doi.org/10.1007/S10806-019-09768-1>
- Huaquisto Cáceres, S., & Belizario Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 225–234. <https://doi.org/10.18271/RIA.2018.366>
- Valencia-Saavedra, W. G., Angulo-Ramírez, D. E., & Mejía de Gutiérrez, R. (2018). Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/ escoria: Sulfatos y ácidos. *Informador Técnico*, 82(1), 67–77. <https://doi.org/10.23850/22565035.1351>

- Henao-Santa, J. D., & Ibarra-Vargas, S. B. (2020). Materiales de desecho y resignificación: notas de una experiencia desde la gestión del diseño. *Producción + Limpia*, 15(2), 125–139. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N2A7>
- Juárez-Alvarado, C. A., González López, J. R., Mendoza-Rangel, J. M., Cadena, A. A. Z., & Zaldivar, A. A. (2017). Low impact fiber reinforced material composite. *Revista ALCONPAT*, 7(2), 135–147. <https://doi.org/10.21041/RA.V7I2.189>
- Karimipour, A., & Ghalehnovi, M. (2021). Comparison of the effect of the steel and polypropylene fibres on the flexural behaviour of recycled aggregate concrete beams. *Structures*, 29, 129–146. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2020.11.013>
- Köroğlu, M. A. (2018). Behavior of composite self-compacting concrete (SCC) reinforced with steel wires from waste tires. *Revista de La Construcción. Journal of Construction*, 17(3), 484–498. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.3.484>
- Kothari, A., Habermehl-Cwirzen, K., Hedlund, H., & Cwirzen, A. (2020). 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, Vol. 13, Page 3467*, 13(16), 3467. <https://doi.org/10.3390/MA13163467>
- Kristiawan, S. A., Sangadji, S., & Sunarmasto. (2019). Eco-durability index of self-compacting concrete incorporating high volume fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012017>
- Li, B., Huang, W., Luo, B., & Chen, G. (2018). Cycle behaviour of precast composite wall with different ecological filled blocks: <https://doi.org/10.1177/1369433218785212>, 22(2), 297–310. <https://doi.org/10.1177/1369433218785212>
- Loganathan, P., & Thirugnanam, G. (2018). Experimental study on mechanical properties and durability properties of hybrid fibre reinforced concrete using steel and banana fibres. *Journal of Structural Engineering*, 44(6), 577–585. <https://es.scribd.com/document/481126703/Dr-loganathan>
- Macanjo Ferreira, D., Luso, E., Lurdes Cruz, M., Mesquita, L., & Gontijo, G. (2020). Fire behaviour of ecological soil–cement blocks with waste incorporation: Experimental and numerical analysis. <https://doi.org/10.1177/0734904119893921>, 38(2), 173–193. <https://doi.org/10.1177/0734904119893921>
- Mejias Guevara, L. S., & Águila Arboláez, I. (2018). Estudio de la resistencia a la compresión de morteros a base de cemento, puzolana, y superplastificante para su aplicación en concreto de alta resistencia. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 33(3), 1–8. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/22155
- Mounika, G., Srinivasa Reddy, V., Seshagiri Rao, M. v, & Swaroopa Rani, M. (2019). Estimation of Ground Granulated Blast Furnace Slag and Rice Husk Ash Cementing Efficiency in Low and Medium Grade Self-Compacting Concretes. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9, 2278–3075. <https://doi.org/10.35940/ijitee.A5273.119119>
- Muthusamy Kavitha, S., Venkatesan, G., Avudaiappan, S., Saavedra Flores, E. I., Muthusamy Kavitha, S., Venkatesan, G., Avudaiappan, S., & Saavedra Flores, E. I. (2020). Mechanical and flexural performance of self compacting concrete with natural fiber. *Revista de La Construcción*, 19(2), 370–380. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.2.370>
- Ortega Sánchez, A. D., & Gil, H. (2019). Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 20–35. <https://doi.org/10.14482/INDE.37.1.620>
- Ozdemir, I., & Kocak, Y. (2020). Investigation of physical and mechanical properties of rice husk ash replaced cements. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(1), 160–168. <https://dergipark.org.tr/pub/ecjse/issue/52184/601342>
- Pajuelo Amez, A., & Pómez Montiel, A. A. (2015). Concreto de alto desempeño utilizando Nanosilíce. In *Concreto al Día - ACI Perú*. <https://fddocuments.es/document/concreto-de-alto-desempeno-utilizando-nanosilice.html>
- Paricaguán Morales, B. M., & Muñoz Cuevas, J. L. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Revista Ingeniería*, 26(2), 202–212. <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/html/>
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27–50. <https://doi.org/10.18359/RCIN.2143>
- Praveenkumar, S., & Sankarasubramanian, G. (2020). Synergic Effect of Sugarcane Bagasse Ash Based Cement on High Performance Concrete Properties. *Silicon 2020 13:7*, 13(7), 2357–2367. <https://doi.org/10.1007/S12633-020-00832-4>
- Premkumar, R., Chokkalingam, R. B., Shanmugasundaram, M., & Ragasree, A. (2020). Study on mechanical properties of alkali activated binary blended binder containing steatite powder and fly ash / GGBS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1), 012153. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012153>
- Raposeiro Da Silva, P., & de Brito, J. (2015). Fresh-state properties of self-compacting mortar and concrete with combined use of limestone filler and fly ash. *Materials Research*, 18(5), 1097–1108. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.028715>
- Rodríguez Rubio, O. O., Fernández Muñoz, A. E., & Vacca Gámez, H. A. (2018). Comportamiento de un material granular con adición de concreto hidráulico reciclado en Colombia. *Carreteras: Revista Técnica de La Asociación Española de La Carretera*, 217, 66–72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6392971>
- Sanz-Díez de Ulzurrun Casals, G., & Zanuy Sánchez, C. (2017). Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras sometido a impacto. *Hormigón y Acero*, 68(282), 139–145. <https://doi.org/10.1016/J.HYA.2017.04.003>
- Shahjalal, M., Islam, K., Rahman, J., Ahmed, K. S., Karim, M. R., & Billah, A. M. (2021). Flexural response of fiber reinforced concrete beams with waste tires rubber and recycled aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123842. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123842>
- Shanmuga Priya, T., Mehra, A., Jain, S., & Kakria, K. (2020). Effect of graphene oxide on high-strength concrete induced with rice husk ash: mechanical and durability performance.

- Innovative Infrastructure Solutions* 2020 6:1, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S41062-020-00378-9>
- Shariful Islam, M., Elahi, T. E., Azmayeen Shahriar, R., & Nashid, M. (2020). Effectiveness of fly ash and cement for compressed stabilized earth block construction. *Construction and Building Materials*, 255, 119392. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119392>
- Tawfeeq, W. M., Ali, T. K. M., Al-Kumzari, Y., Al-Hosni, M., Al-Fazari, K., Al-Bedwawi, M., & Al-Bashkardi, A. (2020). Flexural performance of reinforced concrete beams made by using recycled block aggregates and fibers. *Innovative Infrastructure Solutions* 2020 6:1, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S41062-020-00402-Y>
- Ulloa-Mayorga, V. A., Uribe-Garcés, M. A., Paz-Gómez, D. P., Alvarado, Y. A., Torres, B., Gasch, I., Ulloa-Mayorga, V. A., Uribe-Garcés, M. A., Paz-Gómez, D. P., Alvarado, Y. A., Torres, B., & Gasch, I. (2018). Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. *Ingeniería e Investigación*, 38(2), 34–41. <https://doi.org/10.15446/ING.INVESTIG.V38N2.67491>
- Uysal, M., Akyuncu, V., Tanyildizi, H., Sumer, M., & Yildirim, H. (2018). Optimization of durability properties of concrete containing fly ash using Taguchi's approach and Anova analysis. *Revista de La Construcción. Journal of Construction*, 17(3), 364–382. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.3.364>
- Wang, X., Peng, M., Wang, C., Jalal, A., & Chowdhury, K. (2019). Effect of Lime-bone Ratio on Compressive Strength and Void Fraction of Recycled Green Ecological Concrete. *Nature Environment & Pollution Technology*, 18(5), 1579–1583. www.neptjournal.com
- Wojciech Kubissa, Roman Jaskulski, & Pavel Reiterman. (2017). Ecological Concrete Based on Blast-Furnace Cement with Incorporated Coarse Recycled Concrete Aggregate and Fly Ash Addition. *Journal of Renewable Materials*, 5(1), 53–61. <http://www.techscience.com/jrm/v5nSuppl.1/38087>
- Xiao Sun. (2021). Study on Engineering Performance of Green Porous Sponge Ecological Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-11. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2021/8269053/>
- Xiong, C., Li, Q., Lan, T., Li, H., Long, W., & Xing, F. (2021). Sustainable use of recycled carbon fiber reinforced polymer and crumb rubber in concrete: mechanical properties and ecological evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123624. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123624>
- Yuan Li, S. , Man, D. , & Dong Li, G. (2018). Ecological Study of Deterioration Performance for Concrete in Saline Soil Environment. *Ekoloji Dergisi*, 27(106), 659–666. <http://www.ekolojidergisi.com/article/ecological-study-of-deterioration-performance-for-concrete-in-saline-soil-environment-5451>
- Zieliński, K. (2017). Impact of Recycled Aggregates on Selected Physical and Mechanical Characteristics of Cement Concrete. *Procedia Engineering*, 172, 1291–1296. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.02.157>