


## EFFECTO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

### EFFECT OF SUGARCANE BAGASSE ASH ON CONCRETE PROPERTIES

 *Ramiro Stalin Coronel Camino*<sup>1</sup>

 *Sócrates Pedro Muñoz Pérez*<sup>2</sup>

 *Rodriguez Lafitte Ernesto Dante*<sup>3</sup>

Fecha de recepción: 20/06/2021



Fecha de aprobación: 20/08/2021

#### Resumen

El objetivo principal es evaluar el efecto que produce la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA) en las propiedades del concreto al reemplazarlo como cemento. Se realizó diseños de mezcla para resistencia  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c = 350$  kg/cm<sup>2</sup>, con dosificaciones Patrón, 5%, 10%, 15 % y 20% de sustitución. Se realizó ensayos en estado fresco y endurecido al concreto. Los resultados mostraron que la adición de CBCA no mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto empero la dosificación con 5% de sustitución proporciona valores cercanos a la muestra patrón en el ensayo a compresión, para la resistencia a flexión la dosificación de 10% mejora sustancialmente con respecto a la mezcla patrón a los 28 días de curado.

**Palabras clave:** Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar (CBCA), dosificación, pozolánica, Resistencia.

#### Abstract

The main objective is to evaluate the effect of sugarcane bagasse ash (CBCA) on the properties of concrete when replacing it as cement. Mix designs were made for resistance  $f'c = 280$  kg / cm<sup>2</sup> and  $f'c = 350$  kg / cm<sup>2</sup>, with Standard dosages, 5%, 10%, 15% and 20% substitution. Tests were carried out in a fresh state and hardened to the concrete. The results showed that the addition of CBCA does not improve the physical-mechanical properties of the concrete, however the dosage with 5% substitution provides values close to the standard sample in the compression test, for the flexural strength the dosage of 10% improves substantially with respect to the standard mixture at 28 days of curing.

**Key words:** Sugarcane Bagasse Ash (SCBA), dosage, pozzolanic, resistance.

#### 1. Introducción

El material compuesto de más demanda en el sector construcción es el concreto, debido a sus buenas propiedades estructurales, de fácil fabricación y bajos costes, pero también es el que necesita

<sup>1</sup> Bachiller en Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Perú, [caminors@crece.uss.edu.pe](mailto:caminors@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0002-2593-792X>

<sup>2</sup> Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Maestro en Ciencias de la Tierra con mención en Geotecnia, Universidad Señor de Sipán, Perú, [msocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msocrates@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

<sup>3</sup> Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Universidad Señor de Sipán, Perú, [rlafitte@crece.uss.edu.pe](mailto:rlafitte@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0003-2834-5097>.

como producto principal al cemento el cual tiene una producción mundial de 1.6 millones de toneladas y se estima que para el 2050 se incremente hasta en un 225% con respecto a sus valores actuales, esta producción representa aproximadamente el 7% de la generación de dióxido de carbono en la atmósfera, lo que en consecuencia provoca que aumente la degradación del ambiente, hoy en día debido a la alta generación de gases producidos por la fabricación de cementos, se viene proponiendo el uso de residuos industriales con alta capacidad puzolánica que mejoren las propiedades del concreto (Rendón Belmonte, Martínez Madrid, Martínez Pérez, & Pérez Quiroz, 2019; Sneha & Senthamarai, 2019). La existencia de estos residuos pueden ser empleados como materiales cementantes los cuales no requieren mucho tratamiento antes de ser usados en la mezcla de concretos o morteros, y ante la sumada creciente demanda del concreto se proponen alternativas ambientales que puedan ser ventajosas y económicas para este material, para ello es muy necesario desarrollar concreto con agregado no convencional, debido a las tendencias ambientales es propicio reemplazar de manera parcial el cemento a partir de residuos altamente desperdiciados por las industrias los cuales poseen importantes propiedades puzolánicas que pueden ser usadas en el concreto. (Cabrera-Madrid, Escalante-García, & Castro-Borges, 2016; Sounthararajan, Sivasankar, Vinodh Kumar, Modak, & Dilli Bai, 2019; A. Joshaghani & Moeini, 2017).

La industria cementera no es la única causante de la degradación ambiental sino también la mala o poca gestión en el proceso de eliminación de cenizas provenientes de las industrias azucareras las cuales crean molestias ambientales debido a la eliminación directa en las tierras abiertas, estas son depositadas en basureros cercanos a la población, a causa de lo cual se busca una alternativa para utilizar dichas cenizas en la fabricación de concreto debido a su gran acción puzolánica, anualmente las cenizas podrían alcanzar ~ 366 kt de CO<sub>2</sub>, de los cuales ~ 125 kt son residuos de corteza de caña de azúcar, su empleo reduciría las emanaciones al ~ 273 kt por año (Sajjad, y otros, 2017; Manjunath & Rahul, 2019; B. Jamora, y otros, 2019), el uso de materiales puzolánicos provenientes de la agroindustria trae consigo varias ventajas y la más importante está relacionada con la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> ya que para obtener estos materiales la demanda de energía es menor en comparación a la energía que envuelve el proceso de producción del Clinker ante ello la industria de la construcción pretende valerse de estos desechos como materiales puzolánicos debido a su alto contenido en dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) (Berenguer, y otros, 2018; Farnaz, Arjumend, & Mehmood, 2019). Por lo tanto, encontrar alternativas útiles de valor agregado podría aliviar los riesgos potenciales, al tiempo que beneficia a la industria de la caña de azúcar; una utilización potencial es el uso como filler rico en sílice (Arif, W. Clark, & Lake, 2017), el principal beneficio se obtiene de la presencia en alto contenido de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y el carácter mineralógico amorfo, que generalmente controla el desarrollo de la alta resistencia y estabilidad del producto final (Arif, W. Clark, & Lake, 2017; Nasir, Asma, Muhd, & Hashem, 2016).

Varios estudios de investigación anteriores han informado sobre las excelentes características puzolánicas que otorgan las escorias de corteza de caña de azúcar al concreto los cuales han concluido que dichos residuos poseen un alto contenido químico de SiO<sub>2</sub> y pueden ser usados como un aditivo mineral puzolánico en concretos debido a que se desarrolla de manera eficiente en la resistencia a compresión (Deepika, Anand, Bahurdeen, & Santhanam, 2017; Berenguer, *et al.*, 2018). Además de ser un ingrediente aglutinante contribuye a los efectos de los materiales de unión puzolánica y disminuye los tamaños de poro de las partículas en la masa de cemento Portland y mejora la calidad

del concreto (Sounthararajan, Stalin , & Sivasankar, 2019). No obstante se han identificado trabajos experimentales donde este tipo de material disminuye la trabajabilidad en el concreto fresco afectando sus valores de asentamiento y compactación debido al uso inadecuado de la mezcla además produce resistencias bajas a la compresión y al módulo de Poisson (Sounthararajan, Sivasankar, Vinodh Kumar, Modak, & Dilli Bai, 2019; Saleem Kazmi, Safeer , Junaid Munir, & Khitab, 2016).

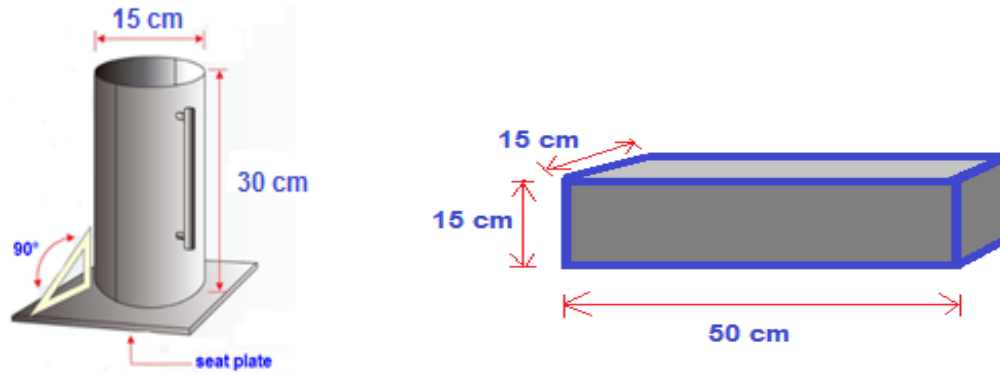
La ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) ha demostrado ser un buen componente puzolánico capaz de producir efectos en el comportamiento del concreto mejorando sus propiedades pero la acción puzolánica obedece a la condición de combustión, relacionada con el proceso de calcinación (Sajjad , y otros, 2017; Duc, Yeong, & My Ngoc, 2018). El presente trabajo se enfoca en la reutilización de residuos generados por la transformación a través de la combustión que sufre el bagazo de caña de azúcar en las agroindustriales azucareras dado que la utilización de materiales alternativos es necesaria para lograr una producción de concreto sostenible y duradero, a la cual se pretende encontrar un adherente puzolánico capaz de producir reacciones que superan las propiedades tanto mecánicas como de durabilidad en el concreto y permita reducir el uso del cemento en su fabricación (Murugesan, Vidjeapriya, & Bahurudee, 2020; Farfán Córdova & Pastor Simón, 2018).

## 2. Materiales y Métodos

Esta investigación desarrolló una metodología basada en la utilización de escorias de bagazo de caña de azúcar la cual busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto, para ello se utilizó bagazo de caña de azúcar el cual fue incinerado a una temperatura controlada de 718.33°C, para luego realizar la molienda hasta la obtención de la ceniza la cual paso la malla granulométrica N° 325, se realizaron ensayos físicos como densidad, índice puzolánico , finura , humedad y químico como el de fluorescencia de Rayos X , los cuales fueron tomados como referencia para poder determinar la tipología de ceniza que se usó.

Una vez obtenida la ceniza se adiciono en cantidades proporcionales como reemplazante del cemento en concretos estructurales, se realizó diseños de mezcla según la metodología ACI para una muestra patrón (i.e. sin adherir cenizas) y luego para muestras dosificadas con CBCA en 5%,10%, 15% y 20% para un concreto de resistencia  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ . La evaluación de las características de los agregados se realizó de acuerdo a la norma ASTM C33-03, para el cemento se tuvo en cuenta las especificaciones de la norma ASTM C 595-09, ASTM C 150-07, para el agua que será necesaria durante el proceso se consideró las especificaciones dispuestas por la norma ASTM C 1602-ASTM C 1602 M, para las cenizas se tuvo en cuenta las especificaciones de la norma ASTM C618-12, se realizó con la finalidad de encontrar la dosificación óptima de resistencia .

Para inquirir las características mecánicas del concreto se realizaron ensayos a la compresión acorde a la norma ASTM C39 para las 4 proporciones estipuladas, en probetas cilíndricas de diámetro 6 in (15 cm) por 12 in (30 cm) de altura en un tiempo de curado a los 7, 14 y 28 días, para el ensayo a flexión se realizaron probetas de tipo prismático en moldes de madera de dimensiones (6 in x 6 in)15x15cm y una longitud de (20 in)50 cm a los 7 y 28 días , de acuerdo al ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio). En la figura 1 muestra el dimensionamiento de las probetas que fueron utilizadas para la realización de los ensayos.



**Figura 1.** Probetas dimensionadas para la realización de ensayos.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.1. Caracterización de los materiales

### 2.1.1. Materiales

#### A. Cemento

Para el estudio experimental se trabajó con cemento portland tipo I Pacasmayo, cumpliendo los requisitos mínimos de calidad exigidos en la normas internacionales de referencia como ASTM C 150.

#### B. Agua

El principal componente en el concreto es el agua potable el cual actúa como reactor químico dentro de la unión con los demás componentes, lo cual permite una mejor trabajabilidad en su estado fresco, por ende, prescindir de ese componente es difícil fabricar el hormigón convencional (Sounthararajan, Sivasankar, Vinodh Kumar, Modak, & Dilli Bai, 2019).

#### C. Agregado Grueso

Dicho agregado es proporcionado por la Cantera Pacherez en el Distrito de Pucalá en la región Lambayeque-Perú cuyas características después del estudio de cantera son las siguientes (ver tabla 1 y 2).

**Tabla 1**

*Desempeño Granulométrico del agregado Grueso*

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Acumulados Retenido	% Que pasa Acumulados	HUSO		
					56		
2"	50.00	0.0	0.0	100.0			
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100		
1"	25.00	1.3	1.3	98.7	90	-	100
3/4"	19.00	29.5	30.8	69.2	40	-	85
1/2"	12.70	43.2	74.0	26.0	10	-	40
3/8"	9.52	19.6	93.6	6.4	0	-	15
N°4	4.75	6.1	99.7	0.3	0	-	5
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL					3/4"		

Fuente: Estudio de canteras Laboratorio (LEMS W & C EIRL, 2021).

**Tabla 2**

*Índice característico del agregado grueso*

<b>Agregado Grueso</b>		
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Und</b>
Tamaño Máximo Nominal	3/4	pulg
Peso Unitario Suelto	1426	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1548	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Específico	2.65	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.49	%
Absorción	1.31	%

*Fuente:* Estudio de canteras Laboratorio (LEMS W & C EIRL, 2021).

**D. Agregado Fino**

Dicho agregado será proporcionado por la Cantera La Victoria en el distrito de Pátapo en la región Lambayeque –Perú cuyas características físicas se muestran en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3**

*Desempeño Granulométrico del agregado Fino*

<b>Malla</b>	<b>%</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Que Pasa</b>	<b>GRADACIÓN</b>	
<b>Pulg.</b>	<b>(mm.)</b>	<b>Retenido</b>	<b>Acumulado</b>	<b>"C"</b>	
3/8"	9.520	0.0	0.0	100.0	100
Nº 4	4.750	5.4	5.4	95	95 - 100
Nº 8	2.360	14.2	19.6	80.4	80 - 100
Nº 16	1.180	21.4	41.0	59.0	50 - 85
Nº 30	0.600	26.0	67.0	33.0	25 - 60
Nº 50	0.300	16.6	83.6	16.4	10 - 30
Nº 100	0.150	10.6	94.2	5.8	2 - 10
<b>MÓDULO DE FINEZA</b>				<b>3.11</b>	

*Fuente:* Estudio de canteras Laboratorio (LEMS W & C EIRL, 2021).

**Tabla 4**

*Índices característicos del agregado Fino*

<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Und</b>
Módulo de Finura	3.11	-
Peso Unitario Suelto	1623	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1766	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Específico	2.53	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.30	%
Absorción	0.56	%

*Fuente:* Estudio de canteras Laboratorio (LEMS W & C EIRL, 2021).

E. Ceniza de Bagazo de caña

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) se adquiere mediante la quema controlada del bagazo de caña de azúcar que se realiza en calderas como parte del proceso de producción (Chulim Tec, Yeladaqui Tello, & Trejo Arroyo, 2019) para ser usadas en la agricultura y/o construcción, los residuos provienen de la quema controlada a 718.33 °C del bagazo de caña de la Industria Azucarera Pomalca en el distrito de Chiclayo departamento de Lambayeque en Perú. La Tabla 5 y 6 muestran respectivamente las características físicas y químicas del residuo empleado.

**Tabla 5**

*Características físicas de la ceniza de bagazo de caña*

<b>Características Físicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Norma Afín</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.19	(ASTM C-188-95 , 2007)
Actividad Puzolánica	%	75.88	(ASTM C109)
Finura	%	33.28	(ASTM C-430, 2008)
Humedad	%	1.10	(ASTM C-311, 2018)

*Fuente:* Estudio de Ceniza Laboratorio (LEMS W & C EIRL, 2021).

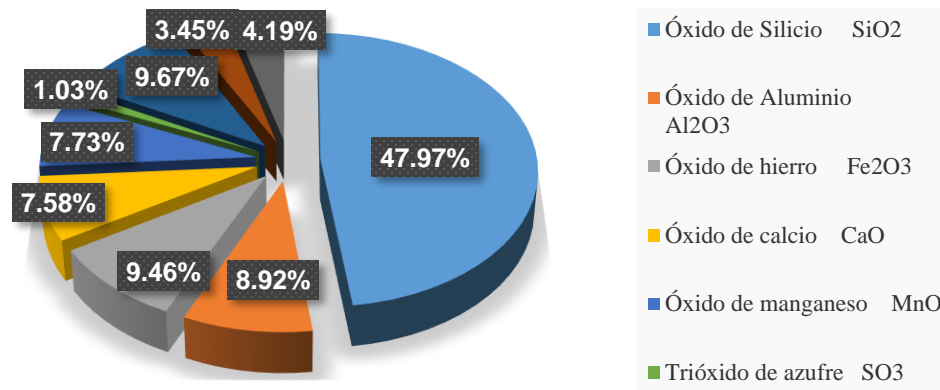
**Tabla 6**

*Composición Química de la ceniza de bagazo de caña*

<b>Componente Químico</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MnO</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>KO<sub>2</sub></b>	<b>LOI</b>	<b>Elementos Livianos<sup>(1)</sup></b>
<b>%</b>	47.97	8.92	9.46	7.58	7.73	1.03	9.67	3.5	4.19

*Fuente:* Estudio de Ceniza (Coronel Camino, 2021).

La **figura 2** muestra de manera desagregada la composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producto del resultado del ensayo químico de Fluorescencia de Rayos X.



**Figura 2.** Composición química desagregada de la ceniza de bagazo de caña de azúcar  
Fuente: Elaboración Propia

En la **figura 3(a.)** y **3(b.)** muestran ceniza extraída de la incineración y molienda respectivamente



**Figura 3.** Ceniza de bagazo de caña de azúcar después de (3a.) calcinación y (3b.) tamizada.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 3. Resultados

#### 3.1. Ensayos del concreto en estado Fresco.

Estos resultados fueron obtenidos a partir de los ensayos realizados en laboratorio para mezclas de concreto en su estado fresco, los cuales fueron medidos teniendo como referencia las Normas Internacionales como la (ASTM C-143, 2010) para el ensayo del asentamiento y la (ASTM C-1064, 2012) para el ensayo de temperatura.

**Tabla 7**

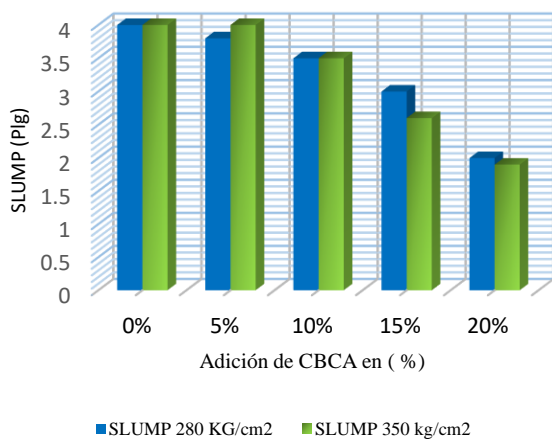
*Resultado del ensayo Slump y de Temperatura en Especímenes cilíndricos y Prismáticos*

Adición	Especímenes Cilíndricos				Especímenes Prismáticos			
	Slump (plg)		Temperatura(°C)		Slump (plg)		Temperatura(°C)	
	280 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>
0%	4	4	30.5	32.8	4.2	4.3	30.8	31.4
5%	3.8	4	30.5	32.6	4	3.9	30.9	31.6
10%	3.5	3.5	31	32.7	3.6	3.6	30.9	31.8
15%	3	2.6	31.5	32.9	2.9	2.8	31.2	32.4
20%	2	1.9	33.3	38.6	1.8	1.4	32.8	35.2

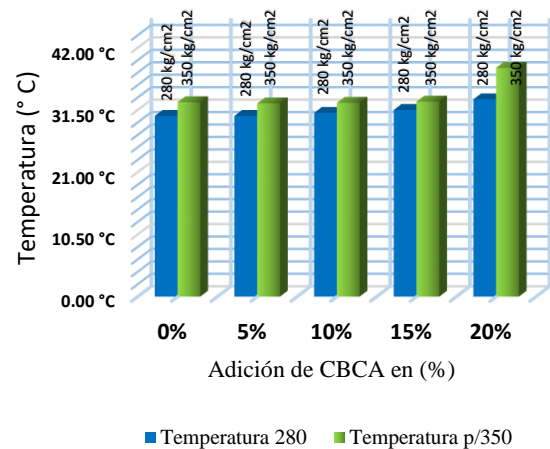
Fuente: Elaboración Propia

Los valores del asentamiento de la mezcla para muestras cilíndricas y prismáticas disminuyen en función del mayor porcentaje de sustitución del cemento por ceniza para ambos diseños, no obstante, los resultados de dosificación al 5% contienen valores cercanos a la dosificación patrón. Considerando los resultados de la temperatura del concreto fresco podemos observar que los valores en mezclas con f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> se mantienen dentro del límite establecido en la norma (ACI 318-19, 2019), empero para mezclas de resistencia f'c 350 kg/cm<sup>2</sup> el porcentaje de sustitución más desfavorable es al 20% debido a que supera el valor límite de 35°C establecidos por la norma mencionada. (Ver Tabla 7).

Según (Farfán Córdova & Pastor Simón, 2018) en su investigación señalan haber obtenido una medida de SLUMP de 3.24” para dosificaciones de 20% de sustitución en peso de cemento, un resultado muy lejos de lo medido en mi investigación. Los resultados de la lectura del Slump y de temperatura para los diseños estipulados en muestras cilíndricas se muestran en la **figura 4**.



(4a.)



(4b.)

**Figura 4.** Lecturas promedios del ensayo de (4a.) Slump y (4b.) Temperatura para diseños de f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> y f'c 350 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. Ensayos del concreto en Estado endurecido

Estos resultados fueron obtenidos a partir de los ensayos realizados en laboratorio para mezclas de concreto en su estado endurecido, los cuales fueron medidos teniendo como referencia las



Normas Internacionales como la (ASTM C-39, 2002) para el ensayo a compresión, (ASTM C-78, 2002) para el ensayo a Flexión y la Norma (ASTM C-469, 2002) para obtener el Módulo Elástico.

**Tabla 8**

Valores Experimentales promedios del ensayo a compresión para diseños  $f'c$  280  $kg/cm^2$  y  $f'c$  350  $kg/cm^2$ .

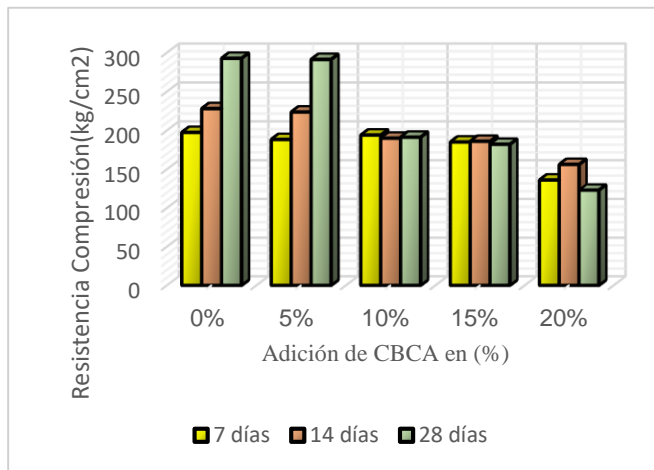
%Adición	$f'c$ (280 Kg/cm <sup>2</sup> )			$f'c$ (350 Kg/cm <sup>2</sup> )		
	7	14	28	7	14	28
0%	197.44	228.00	292.66	313.61	366.34	398.69
5%	188.32	223.59	291.22	275.61	303.71	367.99
10%	193.96	190.01	191.24	307.43	323.29	330.57
15%	185.03	185.96	182.09	277.31	293.03	253.08
20%	136.08	156.15	122.99	232.98	186.07	206.77

Fuente: Elaboración Propia

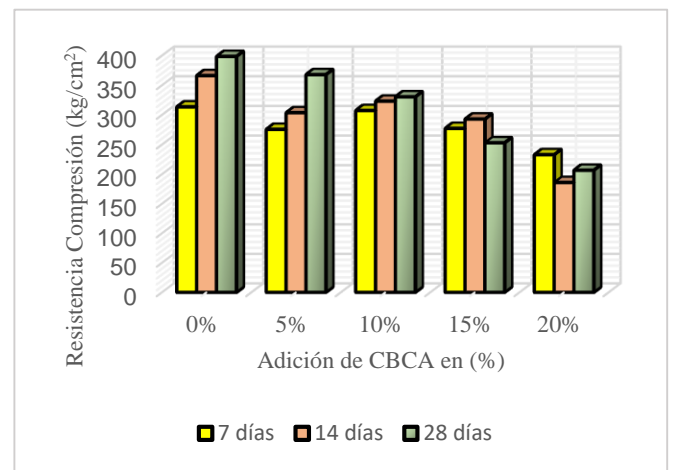
Los valores mostrados en la Tabla 8 muestran resistencia a la compresión inferiores a la muestras patrón para ambos diseños sin embargo la mezcla con porcentaje de sustitución del 5% muestra valores muy cercanos a la muestra con dosificación del 0% a los 28 días de curado.

(Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016), en su investigación señalan una resistencia a compresión promedio de 364.57  $kg/cm^2$  a los 28 días de curado con un 20% de sustitución del cemento, dicho resultado supera en más del 50% en relación a los resultados obtenidos en la presente investigación.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos de los ensayos a compresión para los diseños mencionados según dosificación para 3 tiempos de curado. (Ver figura 5 y 6)

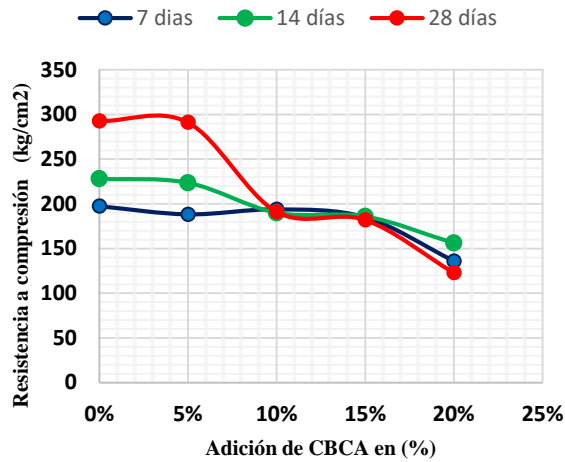


(5a.)

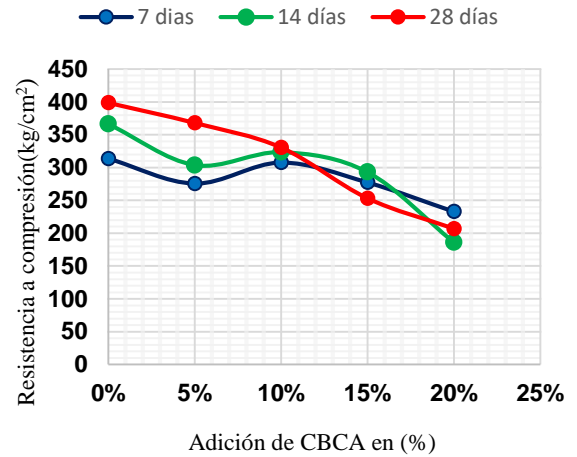


(5b.)

**Figura 5.** Resultados promedios del ensayo a compresión para diseños de (5a.)  $f'c$  280  $kg/cm^2$  y (5b.)  $f'c$  350  $kg/cm^2$ . Fuente: Elaboración Propia



(6 a.)



(6b.)

**Figura 6.** Variación de la Resistencia promedio según adición de CBCA, para (6a.)f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> y (6b.)f'c 350 kg/cm<sup>2</sup>.Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 9**

Valores Promedios obtenidos del Ensayo a Flexión y Módulo de Elasticidad.

Adición (%)	Edad(días)	Módulo rotura Mr. Prom(Mpa)		Módulo Elasticidad(Ec Prom)	
		f'c 280 kg/cm <sup>2</sup>	f'c 350 kg/cm <sup>2</sup>	f'c 280 Kg/cm <sup>2</sup>	f'c 350 Kg/cm <sup>2</sup>
0	7	6.02	5.12	268060.71	266742.24
	14	-	-	277290.32	268612.70
	28	6.61	5.09	293575.41	274456.98
5	7	4.4	5.12	287616.69	253903.09
	14	-	-	284744.53	264549.97
	28	4.37	5.45	300814.07	278897.62
10	7	4.24	5.41	272672.87	263099.07
	14	-	-	277240.73	268716.74
	28	4.14	7.6	311874.97	278939.40
15	7	4.01	7.46	212297.66	250923.70
	14	-	-	243379.32	253969.59
	28	3.86	5.64	248786.48	241029.77
20	7	3.58	3.79	191935.88	231111.89
	14	-	-	166327.90	205094.19
	28	3.2	1.46	166491.18	216270.92

Fuente: Elaboración Propia

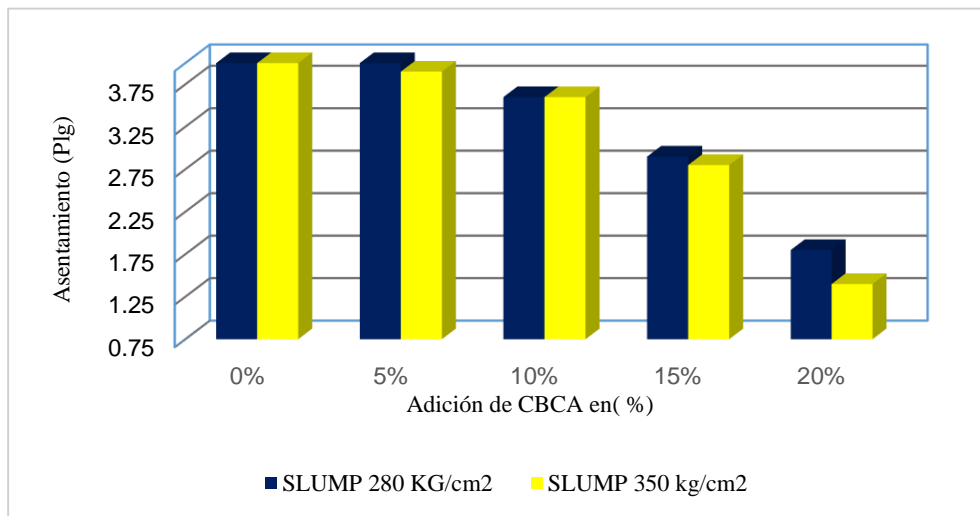
Los resultados de la Tabla 9 muestran la disminución de la resistencia a flexión para diseños de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> empero en el diseño de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> muestran un aumento a la resistencia a los 28 días de curado siendo el porcentaje óptimo la dosificación al 10%. El Módulo de Young para ambos diseños se ve afectado al incrementarse el porcentaje de adición de ceniza a la mezcla.

#### 4. Discusión

##### 4.1. Estado Fresco del Concreto

###### 4.1.1. Asentamiento

Con respecto a la prueba para la determinación del asentamiento para mezclas de especímenes cilíndricos de 0%, 5%, 10% y 15% arrojaron medidas en SLUMP dentro del rango de tolerancia permisible por la norma (ASTM C-143, 2010) los cuales oscilan entre 4" y 3" para diseños de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y entre 4" y 2.6" en diseños de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> en dosificaciones mencionadas, sin embargo a diferencia del 20% de sustitución arrojó medidas muy por debajo de lo establecido en dicha norma para ambos diseños tal como se muestra en la figura 7. Estos resultados contrastan con lo estipulado por (Arif, W. Clark, & Lake, 2017) donde concluyen que la medida se reduce a mayor proporción de sustitución entre el 15 % y 20 % del cemento por CBCA.



**Figura 7.** Comparativo del asentamiento del hormigón fresco para los diseños. Fuente: Elaboración Propia.

###### 4.1.2. Temperatura

Para determinar los resultados obtenidos a partir de la lectura de la temperatura sobre el hormigón en estado fresco recién mezclado se tuvo como referencia la norma (ASTM C-1064, 2012). No existe amplia diferencia de temperatura entre el concreto patrón y las mezclas de 5%, 10%, 15% y 20%, empero en las dosificaciones al 20% de sustitución, la temperatura se ve afectada hasta en un 9.18% en el diseño de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y 17.68% en  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> en mezclas para ensayos cilíndricos y hasta en un 6.49% en  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y 12.1 % en  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> en mezclas para ensayos prismáticos en relación a la dosificación de la mezcla patrón.

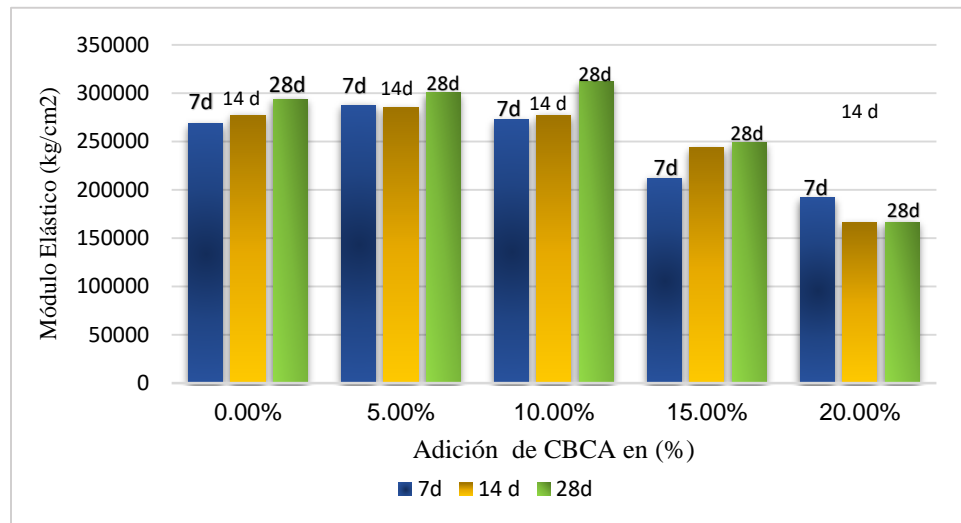
##### 4.2. Estado Endurecido del Concreto

###### 4.2.1. Resistencia Compresiva

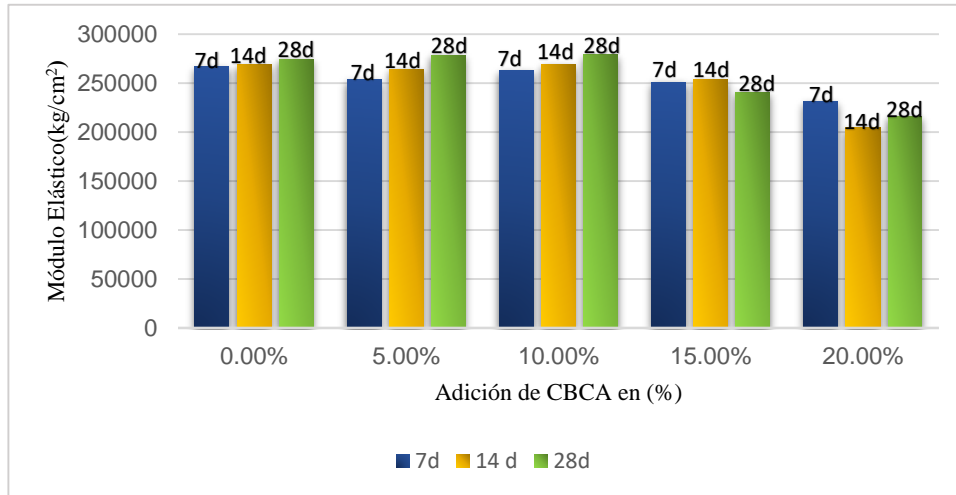
Las medidas obtenidas en la Tabla 8 referente a la resistencia compresiva de las muestras ensayadas experimentalmente se encuentran debajo de la resistencia de la muestra patrón siendo la más desfavorable la dosificación con 20% de dosificación alcanzando perdidas de resistencia hasta un 42.03% en mezclas de diseño de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y hasta 54.83% en mezclas experimentales de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, empero la dosificación de 5% fue la que tuvo mejor comportamiento resistivo es decir ya que alcanzó una resistencia cercana a la dosificación de 0% además supero la resistencia de la muestra de diseño. Este índice porcentual de sustitución lo observaron Seyed et al (Seyed , Farshad , & Nasrollah , 2018), donde indican que la adherencia del 5% de estas cenizas en la mezcla, mejoró significativamente su resistencia mecánica. Sin embargo existen investigaciones como la de (Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016) donde concluyen que al añadir escoria de corteza de caña al concreto muestra resistencias superiores hasta en un 20% y su porcentaje óptimo es al 10% en proporción a peso del cemento.

#### 4.2.2. Módulo de Elasticidad

Los resultados obtenidos en la Tabla 9 referente a la medida del módulo elástico refleja que la dosificación de 10% muestra índices con mejor desempeño elástico a la edad de 28 días,, ésta conclusión es contrastada con la investigación de (Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016) los cuales reflejan que al 10% de sustitución es el contenido que mejor se desempeña elásticamente, (Lathamaheswari, Kalaiyarasan, & Mohankumar, 2017) también concluyen que el módulo de elasticidad desarrolla mejores efectos con el porcentaje de 10%..En las figura 8 y 9 se muestra el resultado del ensayo del módulo elástico para diseño de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.



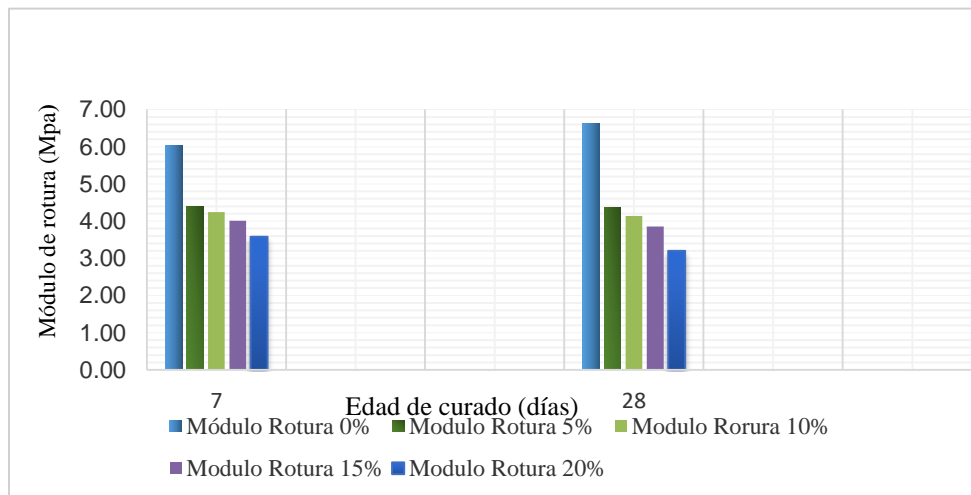
**Figura 8.** Comparativo del Módulo Elástico para un diseño de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup>.Fuente: Elaboración Propia



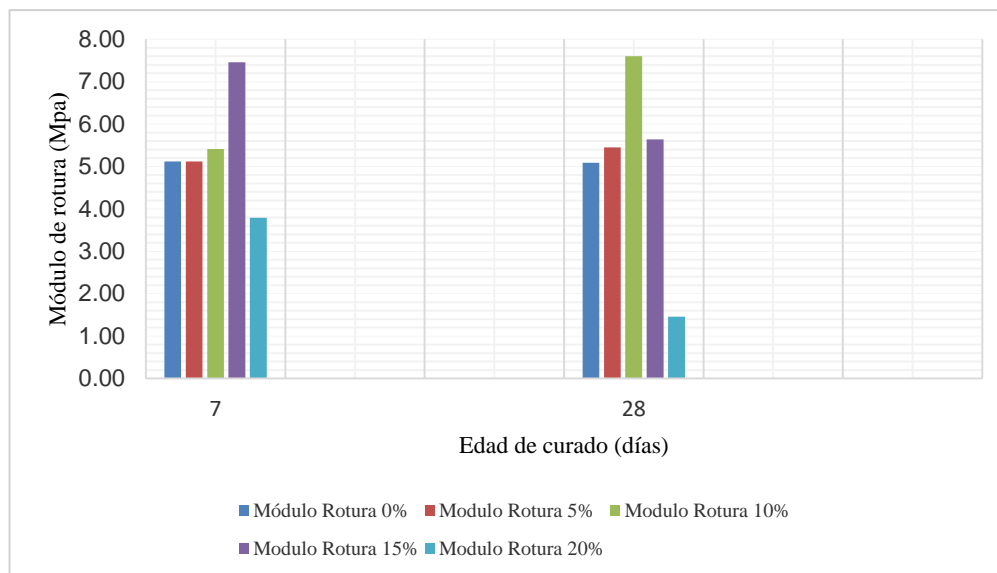
**Figura 9.** Comparativo del Módulo Elástico para un diseño de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3. Resistencia a Flexión

Para los resultados mostrados en la Tabla 8 referente al ensayo de flexión ninguna de las dosificaciones supera a la mezcla control a los 7 días de edad empero el porcentaje de dosificación de 10 % supera en un 29% al diseño referente a los 28 días de curado en el diseño de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>, tal como se muestra en la figura 10. (Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016) hace referencia a este índice y lo recomienda con porcentaje óptimo para alcanzar mayores resistencias, similar conclusión manifiestan (Lathamaheswari, Kalaiyarasan, & Mohankumar, 2017) en su estudio de metodología experimental donde señalan que la resistencia a flexión ha desarrollado mejores efectos en comparación a mezclas sin la adición ,recomendando la muestra optima en el porcentaje de 10%. La Figura 11 plasma gráficamente los resultados obtenidos en el ensayo para la obtención del módulo de rotura para especímenes de diseño de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 y 28 días de curado.



**Figura 10.** Comparativo del Módulo de rotura en diseño  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 11.** Comparativo del Módulo de rotura en diseño  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración Propia.

## 5. Conclusiones

En base a procedimientos referenciados en la normatividad Internacional se pudo determinar que el asentamiento de la mezcla se ve disminuido debido al incremento en la proporción de ceniza (CBCA) como reemplazo del cemento por ende convierte del concreto un material bajo en trabajabilidad, la temperatura del concreto también se vio afectada con el incremento del porcentaje de sustitución ya que aumenta el calor siendo la más desfavorable la mezcla con el 20% de sustitución del cemento llegando hasta 38.6°C en muestras cilíndricas y 35.2 °C en muestras prismáticas en los diseños de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>.

El porcentaje óptimo para muestras ensayadas a compresión fue la mezcla patrón (i.e. sin sustitución) para ambos diseños aunque la dosificación al 5% presenta valores muy cercanos a ésta, la dosificación al 20 % de sustitución fue la más desfavorable reduciendo la resistencia hasta en un 42.03% en mezclas de diseño de  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y hasta 54.83% en mezclas experimentales de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, la dosificación al 10% de sustitución es la de mejor comportamiento para el módulo elástico y para las muestras ensayadas a flexión en diseños de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, por ende la CBCA utilizada en la elaboración de concreto no imparte ni mejora la resistencia a compresión.

## 6. Referencias

- A. Joshaghani, & Moeini, M. A. (2017). Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar. *Construction and Building Materials*, 818-831. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.041>
- ACI 318-19. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete . Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Arif, E., W. Clark, M., & Lake, N. (2017). Sugar cane bagasse ash from a high-efficiency co-generation boiler as filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 692-703. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.136>
- ASTM C-1064. (2012). Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete. *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete*. Estados Unidos: ASTM International,.

- ASTM C109. (s.f.). Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cementos hidráulicos. *ASTM INTERNACIONAL*. Estados Unidos: ASTM INTERNACIONAL.
- ASTM C-143. (2010). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM C-188-95 . (2007). Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM C-311. (2018). American Standard Test Methods . *Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. Estados Unidos: ASTM Intl.
- ASTM C-39. (OCTUBRE de 2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *AMERICAN STANDARD TEST METHOD*. ASTM INTERNACIONAL.
- ASTM C-430. (2008). Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45  $\mu\text{m}$  (No. 325). Estados Unidos: American Standard Test Methods.
- ASTM C-469. (10 de Agosto de 2002). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *ASTM C-469*. Estados Unidos: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C-78. (10 de Enero de 2002). Standard Test Method Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). *ASTM C-78*. Estados Unidos: ASTM INTERNATIONAL.
- B. Jamora, J., L. Gudia, S., Woo Go, A., B. Giduquio, M., A. Orilla, J., & E. Loretero, M. (2019). Potential reduction of greenhouse gas emission through the use of sugarcane ash in cement-based industries: A case in the Philippines. *Journal of Cleaner Production*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118072>
- Berenguer , Nogueira, Marden, Barreto, Helene, & De Melo. (2018). La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros. *Revista ALCONPAT*, 8(1), 30-37. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.187>
- Cabrera-Madrid, J., Escalante-García, J., & Castro-Borges, P. (2016). Compression resistance of concretes with blast furnace slag. Re-visited state-of-the-art. *ALCONPAT Journal*, 64-83. <http://dx.doi.org/10.21041/ra>.
- Chulim Tec, D. Y., Yeladaqui Tello, A., & Trejo Arroyo, D. L. (2019). Propiedades físico-mecánicas del concreto con sustitución parcial de ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Ava Cient*, 87-93.
- Coronel Camino, R. (2021). *Informe Químico de la Ceniza de Bagazo de caña de Azúcar*. Trujillo: CCAM SAC.
- Deepika, S., Anand, G., Bahurudeen, A., & Santhanam, M. M. (2017). Construction Products with Sugarcane Bagasse Ash Binder. *Materials in Civil Engineering*, 1-10. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001999](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001999).
- Duc, H., Yeong, N., & My Ngoc, T. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash-slag blended cement. (Elsevier, Ed.) *Construction and Building Materials*, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.029>
- Farfán Córdova, M. G., & Pastor Simón, H. H. (2018). Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto. *Revista de Investigación y Cultura*, 1-7.
- Farnaz , B., Arjumend , M., & Mehmood , A. (2019). Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties. *Science and Engineering*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04301-y>
- Lakshmi Priya, K., & Ragupathy, R. (2016). Effect of sugarcane bagasse ash on strength properties of concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 159-164.
- Lathamaheswari, Kalaiyaran, V., & Mohankumar, G. (2017). Study on Bagasse Ash As Partial Replacement of Cement in Concrete. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1-6.
- LEMS W & C EIRL. (2021). Ensayos de Laboratorio. Chiclayo: LEMS W & C EIRL.
- Manjunath, & Rahul. (2019). Studies on Fresh and Hardened Properties of Sugarcane Bagasse Ash Blended Self-Compacting Concrete Mixes. *Civil Engineering*, 265-274. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_24)
- Murugesan, Vidjeapriya, & Bahurudee. (2020). Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and Construction Industries. *Society for Sugar Research & Promotion* , 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00794-2>

- Nasir, S., Asma, A. H., Muhd, F. N., & Hashem , A. (2016). Effects of sugarcane bagasse ash on the properties of concreto. *Institution of Civil Engineers*, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1680/jensu.15.00014>
- Rendón Belmonte, M., Martínez Madrid, M., Martínez Pérez, R., & Pérez Quiroz, J. (2019). Durability of concrete mixtures with different contents of activated fly ash. *ALCONPAT*, 9, 200-2014.
- Sajjad , A. M., Jamaluddin , Wan, I., Abd , H. A., Abdul , A., Samiullah , S., & Nizakat , A. (2017). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. *IOP Publishing Ltd*, 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012001>
- Saleem Kazmi, S. M., Safeer , A., Junaid Munir, M., & Khitab, A. (2016). Exploratory Study on the Effect of Waste Rice Husk and Sugarcane Bagasse Ashes in Burnt Clay Bricks. *Building Engineering*, 1-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2016.08.001>
- Seyed , A. Z., Farshad , A., & Nasrollah , B. (2018). Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.153>
- Sneha , & Senthamarai . (2019). Strength and Permeation Property of Concrete Made With Sugarcane Bagasse Ash and Granite Waste as Fine Aggregate Replacement. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 1982-1988. <http://dx.doi.org/10.35940/ijrte.C4492.098319>
- Sounthararajan, Stalin , & Sivasankar. (SETIEMBRE de 2019). Synergetic Effect of Sugarcane Bagasse Ash with Low Modulus of Fiber Reinforced Concrete. *Revista Internacional de Tecnología e Ingeniería Recientes*, 8(3), 7171-7175. <http://dx.doi.org/10.35940/ijrte.C6139.098319>
- Sounthararajan, V., Sivasankar, S., Vinodh Kumar, R., Modak, N., & Dilli Bai, K. (2019). Valorization of Specially Designed Concrete by Using Sugarcane Bagasse Ash and Inducing the Special Benefits of Waste Tin Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 220-224. <http://dx.doi.org/10.35940/ijitee.L3589.1081219>