

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CENIZA DE BIOMASA COMO SUSTITUTO
PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE**

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de monografía, como parte de los
requisitos para optar al título de Ingeniero Mecánico**

MARTÍN ELÍAS LAZA OSPINA

MOISÉS DAVID ARAUJO BRAVO

Director

ING. YAHIR ENRIQUE GONZALES DORIA M.Sc.

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA, CÓRDOBA

2020

**La responsabilidad ética, legal y científicas de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre del 2002 del consejo superior

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Montería, 2020

AGRADECIMIENTOS

De antemano quiero agradecerle a Dios, por darme la salud para enfrentar el día a día, la voluntad para levantarme en las veces que quise desfallecer, la fortaleza con la cual derribé los obstáculos que se me presentaron y la sabiduría para poder lograr esta meta tan importante. Quiero dedicarle este logro a mi madre Edith Cecilia Bravo Theran, la cual con esfuerzo, amor, comprensión y paciencia me enseñó a ser una persona de fe, además fue pilar en el alcance de este logro. También quiero dedicarle este triunfo a mi padre Moisés Araujo Corrales, por estar ahí siempre que lo necesite, por sus consejos y los principios que me enseñó desde pequeño.

Le doy las gracias profundamente a mi familia, en especial a mi tía Marena Del Rosario Bravo Theran y mi abuela Bertulia Theran, fueron las columnas que le dieron firmeza a la culminación de esta meta, también estoy agradecido enormemente con el Sr. Fernando Novoa Chacón el cual me brindó su apoyo incondicional y ánimo para seguir adelante; finalmente le agradezco a mis familiares, amigos, compañeros y personas que han estado a mi lado todo este tiempo.

Moisés David Araujo Bravo

Primero que todo darle la honra y la gloria a Dios por traerme hasta acá, por darme la constancia para seguir cada día adelante sin desfallecer. al ingeniero YAHIR ENRIQUE GONZALEZ DORIA, director de nuestro proyecto de grado y quien de la mejor manera nos llevó y acompañó paso a paso para poder realizarlo. Agradecimientos a mi familia en especial a mi madre IRENE OSPINA RODRIGUEZ; mujer incansable y que día a día lucha por mi bienestar y el de toda mi familia, a mi superhéroe mi padre EDULFO LAZA MONTALVO quien derramo cada gota de sudor diaria para darme lo necesario y llevar sustento a casa, de igual forma a mis hermanas SANDRA, EILEN Y KAREN LAZA OSPINA, quienes también fueron pilares fundamentales en el desarrollo de mi carrera alentándome y dándome ánimos para llegar hasta el final. Por último, un agradecimiento especial a mi prometida YURIS DANIELA TORRENTE HERNANDEZ, quien estuvo desde el principio en este sueño, a ella, quien manifiesta que uno de sus más grandes sueños es que yo cumpla los míos y por último un agradecimiento a mis profesores, compañeros de la universidad y amigos que me ayudaron a llegar hasta la primera meta.

Martín Elías Laza Ospina

TABLA DE CONTENIDO

1	LISTA DE FIGURAS	6
2	LISTA DE TABLAS	7
3	RESUMEN	8
4	ABSTRACT	9
5	INTRODUCCIÓN	10
6	OBJETIVOS	12
6.1	OBJETIVO GENERAL	12
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
7	DESARROLLO DEL TEMA	13
7.1	CONCRETO	13
7.1.1	Componentes del concreto	14
7.1.2	Propiedades mecánicas del concreto	17
7.1.3	Tipos de concreto	18
7.2	INNOVACIONES EN EL CONCRETO	20
7.3	USO DE CENIZAS DE BIOMASA EN LA ELABORACION DE CONCRETO	21
7.3.1	Cascarilla de arroz (rice husk ash, rha)	24
7.3.2	Bagazo caña de azúcar (sugarcane bagasse ash, scba)	26
7.3.3	Mazorca de maíz (cob corn ash, cca)	29
7.3.4	Ceniza volante (fly ash, fa).	32
7.4	CENIZA DE ESTIÉRCOL BOVINO EN LA ELABORACION DE CONCRETO (Cattle Manure Ash, CMA)	36
7.4.1	Estiércol	36
7.4.2	Mezcla de cemento con ceniza de estiércol bovino	37
7.5	COMPARACION ENTRE LAS DISTINTAS CENIZAS DE BIOMASAS Y LA CENIZA DE ESTIERCOL BOVINO	43
8	CONCLUSIONES	47
9	BIBLIOGRAFÍA	48

1 LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Efecto de la proporción agua-cemento y aire atrapado sobre la resistencia del concreto a la compresión a los 28 días</i>	18
<i>Figura 2. Imágenes SEM de la RHA</i>	25
<i>Figura 3. (a) Bagazo de Caña de azúcar, (b) Ceniza de bagazo de caña de azúcar</i>	27
<i>Figura 4. Patrón de difracción de rayos X de SCBA.</i>	28
<i>Figura 5. Micrografía SEM de finas partículas fibrosas de SCBA.</i>	28
<i>Figura 6. Ceniza de estiércol bovino quemada a 500 C, 650 C y 800 C respectivamente</i>	38
<i>Figura 7. Forma microscópica del cemento (a), FA (b) y CMA (c)</i>	39
<i>Figura 8. Análisis mineralógico XRD del CMA y el Cemento Portland</i>	41
<i>Figura 9. Distribución del tamaño de las partículas de CMA y OPC</i>	41
<i>Figura 10. Resistencias a la compresión del cubo de hormigón a los 7, 28 y 56 días para los hormigones de las series N y J.</i>	45

2 LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Nomenclatura taquigráfica para los constituyentes del cemento Portland.</i>	15
<i>Tabla 2. Tipos de Cemento Portland</i>	16
<i>Tabla 3. Clasificación del agregado según su tamaño</i>	17
<i>Tabla 4. Composición química de la RHA</i>	25
<i>Tabla 5. Composición química de la ceniza de caña de azúcar</i>	27
<i>Tabla 6. Composición química de la ceniza de mazorca de maíz</i>	31
<i>Tabla 7. Composición de la ceniza volante.</i>	35
<i>Tabla 8. Composición química del estiércol de ganado bovino</i>	36
<i>Tabla 9. Composición química y propiedades físicas del cemento Portland, FA y CMA</i>	38
<i>Tabla 10. Composición química y propiedades físicas del cemento Portland y CMA</i>	40
<i>Tabla 11. Cuadro comparativo entre las distintas biomásas</i>	44

3 RESUMEN

Esta monografía consta de 5 etapas que abarcan en totalidad la idea o tema principal.

En el primer capítulo se habla del concreto, cuáles son sus componentes principales, propiedades mecánicas, el esfuerzo a la compresión y tipos de concreto. Se describe el proceso por el cual se obtiene el cemento y los diferentes tipos de cementos que existen.

En el segundo capítulo se habla de las innovaciones en el ámbito de la construcción, en particular lo relacionado con el concreto, dentro de las cuales encontramos el tema principal de esta monografía que es la sustitución parcial de cemento por ceniza de biomasa.

Así se da paso, al tema concerniente a las diferentes cenizas de biomasa utilizadas como sustituto parcial del cemento en el capítulo 3, el cual tiene entre sus principales exponentes la ceniza de cascarilla de arroz y la ceniza volante, entre otros.

El capítulo cuatro, toma como tema principal el uso de la ceniza de estiércol bovino, en él se describen las características del estiércol de ganado, sus componentes químicos, los métodos usados para realización de las diferentes investigaciones y se exponen los diferentes resultados.

Finalmente se hace una comparación entre los diferentes estudios hechos con las diferentes cenizas de biomasa, para determinar características principales entre uno y otro, y poder culminar con las conclusiones.

PALABRAS CLAVES: Propiedades mecánicas, esfuerzo de compresión y biomasa.

4 ABSTRACT

This monograph consists of 5 chapters that cover the entire idea or main theme.

In the first chapter, concrete is discussed, what are its main components, mechanical properties, compression effort and types. The process by which cement is obtained and the different types of cements that exist are described.

In the second chapter we talk about the innovations in the field of construction, particularly those related to concrete, within which we find the main theme of this monograph which is the partial replacement of cement by biomass ash.

This gives way to the topic concerning the different biomass ashes used as a partial substitute for cement in chapter 3, in which the rice husk ash and fly ash, among others, are among its main exponents.

Chapter four, takes as its main subject the use of the ash of bovine manure, in which the characteristics of cattle manure, its chemical components, the methods used to carry out the different investigations are described and the different results are exposed.

Finally, a comparison is made between the different studies made with the different biomass ashes, to determine the main characteristics between one and the other, and to be able to culminate with the conclusions.

KEYWORDS: mechanical properties, compression effort and biomass.

5 INTRODUCCIÓN

La aspiración al desarrollo sostenible, genera que se resuelvan necesidades del común y se establezcan nuevos proyectos. Los procesos industriales y agro-industriales se mantienen en un avance constante, generando nuevos y mejores productos, pero al mismo tiempo desechos que causan un alto impacto al ecosistema, contribuyen directamente al calentamiento global y al deterioro del medio ambiente. Este es un escenario en el cual surgen nuevos retos a enfrentar, por ende, se buscan acciones para canalizar dicho deterioro.

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la biomasa (grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica) como fuente energética para realizar sus tareas cotidianas. Cuando el uso de combustibles fósiles comenzó a tomar fuerza, la biomasa se vio relegada a un plano inferior, donde su aportación a la producción de energía primaria era insignificante. En la actualidad debido a diversos factores, como, el encarecimiento del precio del petróleo, el aumento de la producción agrícola, cambio climático, los nuevos procesos en la obtención de energía, entre otros; ha habido un resurgimiento de la biomasa como fuente energética. Dentro de las biomosas más usadas encontramos la cascarilla de arroz, la cual es un derivado de un proceso agroindustrial, y las cenizas volantes generadas en chimeneas de grandes empresas.

La actividad ganadera a través de los años se ha venido desarrollando como una de las actividades participativas en la economía colombiana, siendo productores, importadores y exportadores, por lo que se ha mantenido un incremento del nivel en el censo bovino. Frente a otros sectores de la economía agrícola, la producción de la ganadería colombiana

dobla y triplica a otros sectores, como el avícola, el cafetero, y el floricultor. Adicionalmente, contribuye a la generación de empleo en más del 25% del total de puestos de trabajo generados en el sector agrícola y aproximadamente el 7% sobre el empleo total de la economía colombiana (Profesionales de Bolsa, 2011). La población bovina en el país está distribuida en 514.794 predios y constituida aproximadamente por 23'475.022 animales, ubicados principalmente en los departamentos de Antioquia (11,75%), Córdoba (8,74%), Casanare (7,93%) (ICA, 2017).

Córdoba es un departamento de vocación ganadera, su inventario bovino es uno de los más grandes del país, ocupa el segundo lugar con más de dos millones de bovinos, distribuido en 26.427 predios, que ocupan un área de 1.728.645 hectáreas. Esto caracteriza a la ganadería de Córdoba como una de las de mayor capacidad de carga (1,16 cabezas/ha). En Córdoba se producen al año 395 millones de litros de leche (1 millón 83 mil litros de leche al día), y sacrifica cerca de 400 mil bovinos (FEDEGAN, 2014). Pero como toda actividad, la producción bovina tiene impactos negativos sobre el suelo, el agua y el aire, especialmente por la generación de gases de efecto invernadero que cada individuo puede liberar diariamente. Por esto, algunos países de Latinoamérica han desarrollado e implementado proyectos, documentos jurídicos y normas que respalden el desarrollo esta actividad, del mismo modo enfocados en encontrar la forma de mitigar los impactos de esta.

La universidad de Córdoba está siempre comprometida con el desarrollo regional, por eso, la realización de esta monografía propone dar una utilidad al manejo y disposición final del estiércol bovino, con el fin de contribuir a la protección del medio ambiente, la salud pública y el crecimiento del departamento.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de la ceniza de biomasa como sustituto parcial del cemento en la elaboración de concreto simple.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Investigar los tipos de biomasa usados para sustituir parcialmente el cemento.
- ❖ Analizar qué características debe tener la ceniza de biomasa, para que pueda sustituirse parcialmente por cemento.
- ❖ Establecer si la ceniza de estiércol bovino puede usarse como sustituto parcial del cemento en la elaboración de concreto.

7 DESARROLLO DEL TEMA

7.1 CONCRETO

En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y luego de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. El hormigón es el material de construcción más utilizado. Las principales propiedades del hormigón están determinadas por la calidad y las características de los agregados, la relación A/C y la uniformidad de la compactación de la mezcla, la resistencia a la compresión es una de las características clave del hormigón (Nagrockiene & Daugéla, 2018). Durante el proceso de elaboración del concreto, los distintos tipos de mezclas van teniendo nombres y características diferentes, por ejemplo:

- **Pasta o Pegante:** El término se refiere a la mezcla de cemento, agua, aire (naturalmente atrapado o intencionalmente incluido) y aditivos (si estos son agregados).
- **Mortero:** Es la mezcla de pasta y agregado fino (arena), la cual es muy usada en la pega de ladrillos para hacer muros y en el recubrimiento de estos, por esto también se conoce como repello o revoque.
- **Concreto:** El mortero con agregado grueso (piedra), da como resultado el concreto u hormigón (Sanchez de Guzman, 2001).

7.1.1 COMPONENTES DEL CONCRETO

- ❖ **CEMENTO:** En el sentido más amplio, la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos de minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas (*Sanchez de Guzman, 2001*).

Estos se dividen en: *cementos hidráulicos*, los cuales requieren agua para formar un sólido, o *cementos no hidráulicos*, los cuales forman sólidos sin necesidad de agua.

El cemento hidráulico más común es el cemento Portland, su origen data de 1824 cuando Joseph Aspdin, un constructor de Leeds (Inglaterra), calcino en un horno una mezcla de piedra caliza y arcilla, la cual molió y pulverizó (*Sanchez de Guzman, 2001*).

El cemento Portland está hecho de nódulos pulverizados de silicatos de calcio sinterizados. Debido a que estos silicatos de calcio son abundantes en la caliza, gis, depósito de concha y esquisto, este se convierte en uno de los materiales de construcción más económicos disponibles.

En su producción se toma una fuente de carbonato de calcio y se mezcla con cuarzo (SiO_2) y arcilla o limo que proporciona Fe_2O_3 y Al_2O_3 a la mezcla. Debido a la prevalencia de distintos hierros, aluminios, óxidos de calcio y silicatos, se desarrolló un sistema estándar de nomenclatura abreviada. Esta notación taquigráfica se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura taquigráfica para los constituyentes del cemento Portland.

NOMBRE DEL OXIDO	FÓRMULA	ABREVIATURA
Óxido de calcio	CaO	C
Dióxido de silicio	SiO ₂	S
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	A
Óxido férrico	Fe ₂ O ₃	F
Agua	H ₂ O	H
Óxido de magnesio	MgO	M
Trióxido de azufre	SO ₃	S
Óxido de potasio	K ₂ O	K
Óxido de sodio	Na ₂ O	N
Óxido de litio	Li ₂ O	L
Óxido de fosforo	P ₂ O ₅	P
Óxido de hierro	FeO	F
Óxido de titanio	TiO ₂	T

Tomada de: (Sanchez de Guzman, 2001)

La mezcla es introducida en un horno giratorio, comenzando así un proceso de cuatro etapas principales:

- **Evaporización-deshidratación:** La mezcla se calienta entre 250° C y 450° C para secar toda el agua libre. Se aumenta la temperatura hasta los 600° C, cualquier agua vinculada a los óxidos y silicatos es removida.
- **Calcinación:** A los 900° C, el carbonato de calcio se convierte en óxido de calcio y se libera dióxido de carbono.
- **Clinkerización:** La temperatura del horno se incrementa a alrededor de 1450° C, y el óxido de calcio remanente reacciona con los silicatos del cuarzo para formar silicato dicálcico (C₂S conocido como belita en su forma mineral) y silicato tricálcico (C₃S denominado también alita).
- **Enfriamiento:** El Clinker pasa por un proceso de enfriamiento y es enviado a un molino de bolas donde es aterrizado con yeso pulverizado hasta que la mezcla

logre un tamaño de partícula promedio de 10 μm aproximadamente (Newell, Ciencia de materiales. Aplicaciones en Ingeniería 1th., 2010).

Al cambiar la composición química y las propiedades físico-mecánicas del cemento, se pueden obtener características diferentes cuando se hidrata, dando lugar a varios tipos de cemento, mencionados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipos de Cemento Portland

CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			PROPIEDADES ESPECIALES
	1 DÍA	28 DÍAS	90 DÍAS	
Tipo I	100	100	100	Uso general
Tipo II	75	90	100	Algo de resistencia al sulfato
Tipo III	190	100	100	Gana fuerza muy rápido
Tipo IV	55	75	100	Calor de hidratación bajo
Tipo V	65	85	100	Alta resistencia al sulfato

Tomada de: (Sanchez de Guzman, 2001)

- ❖ **AGUA:** Se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. El agua se puede clasificar en:
 - **Agua de mezclado:** Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico (aún no ha endurecido).
 - **Agua de curado:** Puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. El agua de

curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento.

- ❖ **AGREGADOS:** Son aquellos materiales inertes de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua conforman un todo compacto. Estos se pueden clasificar según su tamaño (tabla 3), el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección transversal. Esta distribución de tamaño de partículas es lo que se conoce con el nombre de granulometría.

Tabla 3. Clasificación del agregado según su tamaño

TAMAÑO DE PARTÍCULA EN MM (TAMIZ)	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO
<0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0,002 - 0,074 (No. 200)	Limo		
0,075 - 7,76 (No. 200)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
4,76 - 19,1 (No. 4)	Gravilla	Agregado grueso	
19,1 - 50,8	Grava		
50,8 - 152,4	Piedra		
>152,4	Rajón Piedra bola		

Tomada de: (Sanchez de Guzman, 2001)

7.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

El concreto desarrolla varias propiedades mecánicas deseables, incluyendo excelente resistencia a la tracción, excelente resistencia química y a la humedad y excelente estabilidad de volumen. Las propiedades mecánicas del concreto se relacionan con la proporción agua-cemento; el tamaño, la forma y la composición de los agregados

utilizados, y la mezcla de cemento y rellenos. La proporción agua-cemento ejerce la mayor influencia en la resistencia y durabilidad del concreto.

Una proporción elevada de agua-cemento mejora la facilidad de trabajo del concreto, esto es, la facilidad con la que la pasta de concreto puede llenar todos los espacios del molde o marco. Las bolsas de aire o la porosidad interconectada causadas por la mala facilidad de trabajo del concreto reducen la resistencia y la durabilidad de la estructura de concreto. Si se incrementa la proporción de agua-cemento más allá del mínimo requerido para su facilidad de trabajo se reduce la resistencia del concreto a la compresión. La resistencia a la compresión se mide generalmente determinando el esfuerzo requerido para romper un cilindro de concreto con características específicas (Newell, Ciencia de Materiales. Aplicaciones en Ingeniería, 2010).

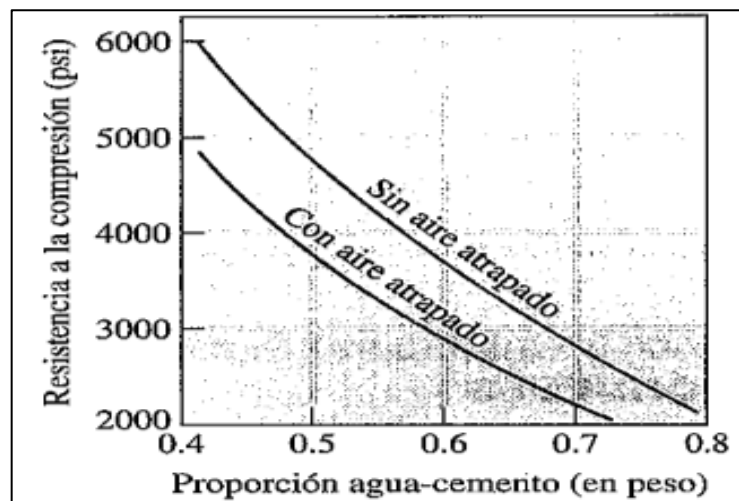


Figura 1. Efecto de la proporción agua-cemento y aire atrapado sobre la resistencia del concreto a la compresión a los 28 días
Tomada de: (Askeland, 2012)

7.1.3 TIPOS DE CONCRETO

Concreto Premezclado: Se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores, para después ser transportado a la obra. Existe una gran variedad

de concretos premezclados, según la necesidad específica de cada obra: de alta resistencia, de resistencia acelerada, de baja permeabilidad, de fraguado acelerado, liviano, entre otros.

- **Concreto Ciclópeo:** Es también un concreto simple, compuesto por grandes piedras o bloques. No contiene armadura y es utilizado en cimientos corridos, bases o rellenos que no requieren una alta resistencia.
- **Concreto Simple:** Este tipo de concreto no tiene armadura de refuerzo. Generalmente, es utilizado para la construcción de veredas y pavimentos.
- **Concreto Armado:** Este tipo de concreto es estructural y tiene armadura de refuerzo (fierro) para obtener mayor resistencia en las edificaciones, tales como: columnas, vigas y losas.
- **Concreto Prefabricado:** Utilizado para elementos de concreto simple o armado, fabricados en un lugar diferente a su posición final en la estructura.
- **Concreto Arquitectónico o Coloreado:** Utilizado en construcciones con elementos caravista y puede solicitarse en la tonalidad que se desee. La resistencia varía de acuerdo a especificación del proyecto, sus costos son variables, no sólo por el pigmento empleado en su coloración, sino también por la complejidad en la logística que conlleva el proceso de producción para evitar el cambio de tonalidad en todo el volumen despachado.
- **Concreto Permeable:** Conocido como “concreto ecológico”, “verde” o sostenible, permite que el agua fluya a través de su estructura, permitiendo recuperar el agua y evitar la desertificación de los suelos. Principalmente, se

emplea para la construcción de estacionamientos, piletas, pistas, veredas, ciclo vías, entre otras.

7.2 INNOVACIONES EN EL CONCRETO

La industria de los materiales de construcción ha tenido que evolucionar y reinventarse para satisfacer los requerimientos, cada vez más retadores, que imponen ingenieros y arquitectos encargados de especificar los proyectos. La industria cementera, ha visto la necesidad de apostarle a la investigación y el desarrollo de productos innovadores para conformar un portafolio amplio, con el cual se pueda generar valor para todos los actores de la cadena, desde el especificador hasta el usuario final.

En la actualidad encontramos diversos proyectos e investigaciones, que buscan imponer tendencias o romper esquemas, por ejemplo, tenemos la empresa Argos con su llamado concreto avanzado, que es un material de alto valor que irrumpe en el mundo de la construcción como una solución integral que abarca conceptos como la sostenibilidad, durabilidad y la versatilidad, dentro de sus ventajas vemos un buen desempeño sísmico dado su capacidad de absorción de energía, altas prestaciones mecánicas que lo hacen competitivo frente a materiales como el acero y permite diseñar elementos livianos con secciones mecánicamente eficientes (Patiño, 2020).

Desde hace algún tiempo se está desarrollando y mejorando uno de los tipos de concreto más novedosos de la historia, el concreto translúcido. Este concreto es conocido en el mercado como Light Translucent Concrete desarrollado por los ingenieros civiles mexicanos, Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Omar Galván, estos usaron cemento blanco, agregados finos, gruesos, fibras, agua y un aditivo de fórmula secreta, el cual es el encargado de dar la característica de transparencia al concreto. Este posee una resistencia

de hasta 90 MPa, las cuales han sido validadas por el Instituto de Investigaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (360enconcreto, 2020).

No en todos los casos encontramos respuestas positivas, en el estudio hecho por (Contrafatto, 2017), se evaluó la posible reutilización de los depósitos piroclásticos volcánicos generados por las erupciones del volcán Etna, los resultados mostraron que, el reciclado de los depósitos piroclásticos volcánicos como agregados es factible, pero su aplicación en la producción de cemento no es viable, debido al pobre comportamiento puzolánico.

En esta búsqueda de materiales reutilizables, una tendencia en los últimos años, son los estudios relacionados con el uso de ceniza de biomasa, mezclada con cemento en la elaboración de concreto, el origen de esta es muy diverso, puede venir ya sea de procesos industriales como la ceniza volante de las chimeneas de medianas y grandes empresas, o la quema de algún producto proveniente de un proceso agroindustrial, por ejemplo, la cascarilla de arroz, entre otros.

7.3 USO DE CENIZAS DE BIOMASA EN LA ELABORACION DE CONCRETO

Se define la biomasa como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura, la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico.

En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de

energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y otros residuos derivados de las industrias.

La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirólisis (APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables), 2020).

Con el continuo consumo y agotamiento de los combustibles fósiles, diferentes países buscan fuentes de energía alternativas. La energía de biomasa es de gran interés y se ha desarrollado rápidamente en todo el mundo. En 2014, la producción mundial de biocombustibles aumentó un 7,4%, y la proporción de energía renovable en el consumo mundial de energía alcanzó el 3,0% (BP, 2015).

Existen muchos estudios realizados con diferentes tipos de biomasa según la región y la clase de materia prima que esta genere, las cenizas de estos materiales tienen una gran actividad puzolánica, que se define como la capacidad de un material para fijar hidróxido cálcico, a temperatura ordinaria, en presencia de agua, originando productos sólidos, insolubles y dotados de resistencia mecánica. Esta actividad puzolánica es la propiedad más importante de las cenizas silico-aluminosas, que es mayor que en muchas puzolanas naturales y artificiales y dependen del contenido en material silico-aluminoso soluble, esta es una de las principales razones para su empleo en el hormigón, pues las cenizas son capaces de reaccionar con el hidróxido cálcico (Ca(OH)_2) liberado en la reacción de hidratación del cemento portland.

Según (Velay Lizancos, Azenha, Martínez Lage, & Vázquez Burgo, 2017) en su artículo hacen referencia al uso de cenizas de biomasa, provenientes de residuos generados en una fábrica de papel, en la cual, las cenizas se originan a partir de desechos de madera de eucalipto, que incluye corteza de árboles, residuos forestales y el licor negro obtenido del proceso de cocción de la madera. Argumentan que la sustitución parcial del cemento por cenizas de biomasa es particularmente influyente en la evolución del E-Módulo y la conductividad eléctrica, aunque al no individualizar el tipo de materia orgánica utilizada, solo podemos generalizar, que la ceniza de biomasa influye de alguna manera en la mezcla de concreto, estudios aledaños particulares de ceniza de biomasa como sustituto del cemento en la elaboración de concreto tenemos la ceniza de aceite de palma según (Ofuyatan & Edeki, 2018)) al estudiarse la durabilidad del hormigón con este tipo de ceniza(POFA) se lograron resultados peculiares y es que a las muestras realizadas sumergidas en 1% de ácido sulfúrico y 5% de sulfato de sodio obtuvieron menor permeabilidad de los iones a los 28, 56 y 90 días lo que deduce una mayor durabilidad del hormigón y con capacidad de ser usado en estructuras que se encuentran expuestas a ataques químicos, de igual manera . De igual manera el estudio de Biomasa poco común tal como polvo residual obtenido de resto composicional de residuos orgánicos en los que se encuentran restos de comida como cascara de huevo, vegetales, madera, carnes se tomaron muestras de concreto con 5%, 10%, 15% y 20% de reemplazo en peso de la ceniza por cemento y generando variabilidad en la proporción a/c y se determinó que la muestra con a/c 6:1 y porcentaje de 10% presento una mejora de la resistencia a la compresión con respecto a la referencia tomada de (Soto Izquierdo, Soto Izquierdo, & Ramalho, 2018) al especificar el tipo de biomasa utilizada encontramos que, de las más estudiadas, tenemos:

7.3.1 CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (Rice Husk Ash, RHA)

La RHA es un material subproducto, obtenido de la combustión de la cáscara de arroz que consiste en dióxido de silicio no cristalino con una elevada superficie específica y una alta reactividad puzolánica. Se utiliza como material puzolánico en el mortero y el hormigón, y ha demostrado una influencia significativa en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad de este.

El hormigón mezclado con RHA disminuye el efecto de la temperatura que se produce durante la hidratación del cemento, mejora la trabajabilidad del hormigón en comparación con el OPC (Cemento Portland Ordinario). También puede aumentar el tiempo de fraguado inicial y final de las pastas de cemento. Además, el hormigón mezclado con RHA puede disminuir la porosidad total del hormigón y modificar la estructura de los poros del cemento, el mortero y el hormigón, y reducir significativamente la permeabilidad que permite la influencia de los iones nocivos lo que lleva al deterioro de la matriz de hormigón. De igual forma mejora la resistencia a la compresión, así como la resistencia a la tracción y a la flexión del hormigón. La RHA ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de la edad temprana, así como las propiedades de resistencia a largo plazo. La sustitución parcial del cemento por RHA reduce la penetración de agua por acción capilar.

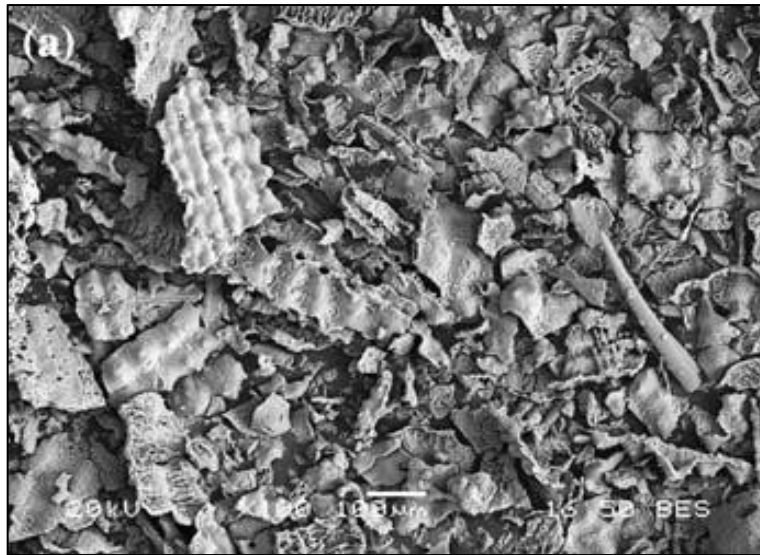


Figura 2. Imágenes SEM de la RHA
Tomada de: (Chagas Cordeiro, Toledo Filho, & Rego Fairbairn, 2009)

Tabla 4. Composición química de la RHA

<i>Componente</i>	<i>% en peso</i>	<i>Componente</i>	<i>% en peso</i>
SiO ₂	91,39	S	0,14
K ₂ O	2,17	P ₂ O ₅	0,79
CaO	0,39	Na ₂ O	0,05
Al ₂ O ₃	0,13	Zn	0,02
Fe ₂ O ₃	0,37	Cl	0,04
MgO	0,33	Cr	0,01
MnO	0,17	H ₂ O	4,00

Tomada de: (Mattey, Robayo, Díaz, Delvasto, & Monzo, 2015)

El activo más esencial de la RHA que identifica la actividad puzolánica es la sustancia en fase amorfa. La producción de ceniza de cascarilla de arroz puede dar lugar a la formación de aproximadamente un 85% a 95% en peso de sílice amorfa (Della, Kuhn, & Hotza, 2002). Como consecuencia de esta característica, la RHA es una sustancia puzolánica extremadamente reactiva apropiada para su uso en mezclas de cal y para la sustitución del cemento Pórtland.

La incorporación de RHA como reemplazo parcial del cemento entre el 12% y el 15% puede ser suficiente para controlar la expansión deletérea debido a la reacción álcali-sílice en el hormigón, dependiendo de la naturaleza del agregado (Naji Givi, Abdul Rashid, A. Aziz, & Mohd Salleh, 2010).

Según (Salas, Castillo, Sanchez de Rojas, & Veras, 1986) moler la RHA hasta conseguir una finura adecuada es absolutamente imprescindible, con el estudio realizado por (Chao-Lung, Anh-Tuan, & Chun-Tsun, 2011) ratificamos esta idea dado que los expositores argumentan que hasta un 20% de ceniza de RHA molida podría mezclarse ventajosamente con el cemento, además afirman que la eficiencia de la resistencia del hormigón con RHA molido es mucho más alta que la del hormigón normal. Compartimos esta idea pues consideramos que el tamaño de grano de la ceniza al ser más fino o pequeño reduce la incorporación de aire dentro de la mezcla, introduciéndose en los espacios que pueda haber entre la grava, la arena y el cemento.

7.3.2 CENIZA DE BAGAZO CAÑA DE AZÚCAR (Sugarcane Bagasse Ash, SCBA)

El bagazo de la caña de azúcar consiste aproximadamente en un 50% de celulosa, 25% de hemicelulosa y 25% de lignina. Cada tonelada de caña de azúcar genera aproximadamente 26% de bagazo con un contenido de humedad del 50% y 0,62% de cenizas residuales. La composición química de la ceniza residual consiste principalmente en dióxido de silicio (SiO_2). En el estudio realizado por (Alireza Zareei, Ameri, & Bahrami, 2018) la ceniza estaba seca y negra, y se calentó a 700 C durante 1 h y luego se utilizó para sustituir el cemento en diferentes porcentajes.

Tabla 5. Composición química de la ceniza de caña de azúcar

COMPUESTO	CEMENTO	SCBA	MICRO-SÍLICA
Na ₂ O	0.1	0.87	0.29
CaO	66.1	8.17	0.11
K ₂ O	0.6	1.32	0.25
Fe ₂ O ₃	2.5	5.47	1.1
SiO ₂	21.5	64.23	95
Al ₂ O ₃	6	9.08	1.12
MgO	2	2.97	0.14

Tomada de: (Alireza Zareei, Ameri, & Bahrami, 2018)



Figura 3. (a) Bagazo de Caña de azúcar, (b) Ceniza de bagazo de caña de azúcar
Tomada de: (Alireza Zareei, Ameri, & Bahrami, 2018)

La figura 3 muestra el material de SCBA en bruto y quemado. La figura 4 muestra la difracción de rayos X (DRX) de la SCBA, donde la alta cantidad de cuarzo y calcita indica biomasa quemada a alta temperatura, cuyos datos de DRX mostraron un predominio del cuarzo con poca o ninguna actividad puzolánica. La cantidad de cuarzo en el SCBA se debe a la presencia de arena adherida a la caña de azúcar.

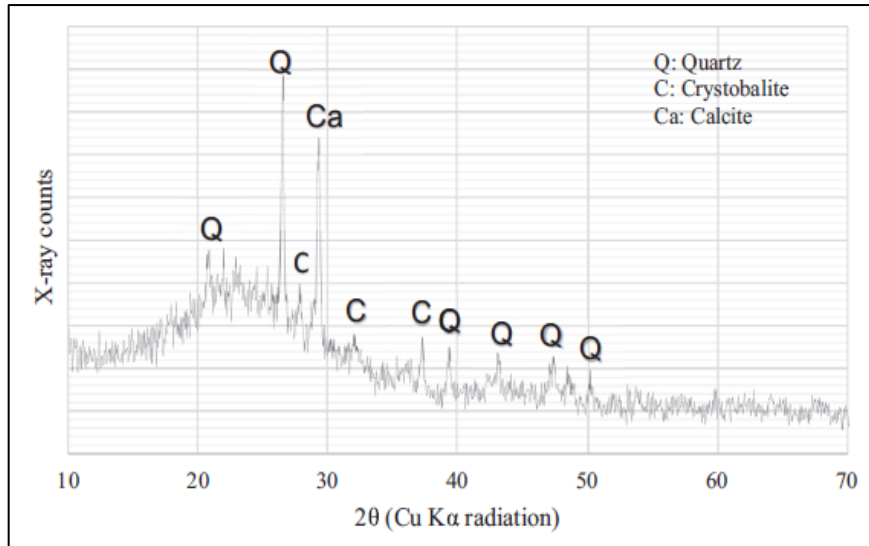


Figura 4. Patrón de difracción de rayos X de SCBA.
Tomada de: (Alireza Zareei, Ameri, & Bahrami, 2018).

Usaron la microscopía electrónica de barrido (MEB) para examinar la microestructura del SCBA como se muestra en la figura 5. Las partículas de sílice quemadas con estructura irregular causan una menor fluidez.

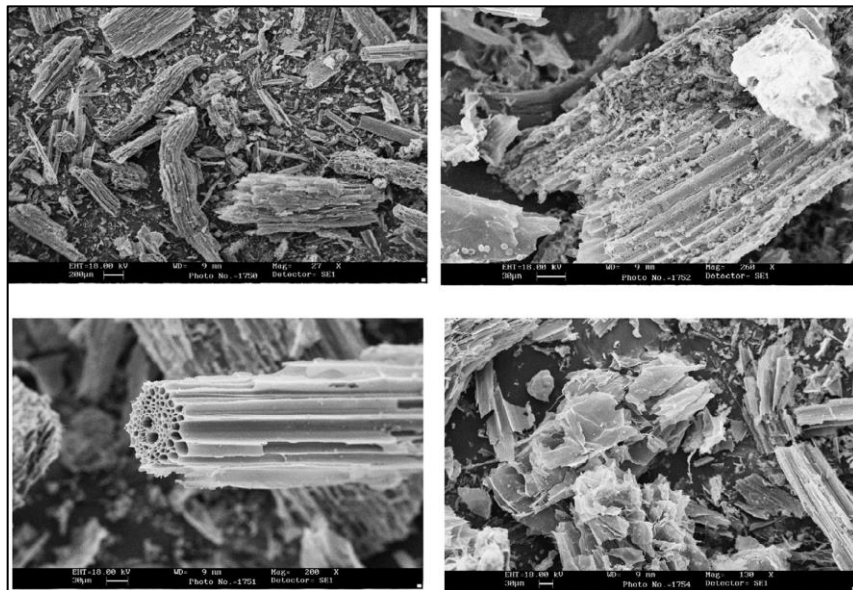


Figura 5. Micrografía SEM de finas partículas fibrosas de SCBA.
Tomada de: (Alireza Zareei, Ameri, & Bahrami, 2018).

Con los diversos ensayos realizados los autores llegaron a la conclusión que el reemplazo óptimo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar es del 15% y determinaron que la incorporación de SCBA mejoró el rendimiento del hormigón en términos de durabilidad y resistencia al impacto.

Resultado un poco distinto mostro el trabajo hecho por (Gritsada & Natt, 2016), donde la diferencia fue que en términos generales las muestras con la ceniza de caña de azúcar mezclada con cemento auto-compactante, tenían una menor la resistencia a la compresión que las de control. Sin embargo, los resultados muestran que el hormigón auto-compactante con un 30% de SCBA sustituido, tiene una resistencia a la compresión de más de 30 MPa a los 28 días. Con lo cual se debe indagar más en las proporciones de la mezcla para poder dictaminar un resultado más veraz, punto a tener en cuenta al momento de realizar el análisis con la ceniza de estiércol bovino.

7.3.3 CENIZA DE PAJA DE CEBADA

La paja de cebada es un subproducto fibroso. La composición de la paja depende de la proporción de hojas/tallos, el diámetro del tallo y la altura de la planta, de modo que se presentan variaciones ligadas a la especie y la climatología. También hay que destacar que la paja de cebada resulta ser un excelente aislante térmico que ayuda a mantener temperaturas en niveles de bienestar en el interior de la casa.

En el trabajo de tesis realizado por (Morales Avalos, 2019), se pre quemó la paja de cebada a cielo abierto en un revestimiento cerámico para evitar su contaminación y a la vez eliminar los humos de la carbonización, se sometió a una calcinación con una temperatura controlada de 750 C por 1 hora y media a fin de convertir los contenidos de sílice y

aluminio en óxidos de silicio (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3) que son activamente cementantes.

La ceniza de paja de cebada, fue sometida a un análisis por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE). Los componentes químicos de la ceniza de paja de cebada calcinada se expresan por el contenido de óxidos, en porcentajes:

Tabla 6. Composición química de la ceniza de paja de cebada

<i>COMPOSICION QUIMICA</i>	<i>RESULTADO (%)</i>
<i>Trióxido de Aluminio (Al_2O_3)</i>	25.340
<i>Óxido de silicio (SiO_2)</i>	23.450
<i>Pentóxido de Disfósforo (P_2O_5)</i>	5.477
<i>Dióxido de Azufre (SO_2)</i>	5.948
<i>Dióxido de Cloruro (ClO_2)</i>	3.893
<i>Óxido de potasio (K_2O)</i>	30.963
<i>Óxido de Calcio (CaO)</i>	4.358
<i>Óxido de Titanio (TiO_2)</i>	0.027
<i>Trióxido de Dicromo (Cr_2O_3)</i>	0.003
<i>Óxido de Manganeso (MnO)</i>	0.063
<i>Trióxido de Hierro (Fe_2O_3)</i>	0.384
<i>Óxido Niquelico (Ni_2O_3)</i>	0.002
<i>Óxido de Cobre (CuO)</i>	0.013
<i>Óxido de Zinc (ZnO)</i>	0.056
<i>Óxido de Estroncio (SrO)</i>	0.021

Tomada de: (Morales Avalos, 2019)

Al momento de determinar la resistencia a compresión de los morteros de control, se obtuvieron los siguientes resultados: a 3 días con 354.67 kg/cm², 7 días con 375.33 kg/cm² y 28 días con 401.67 kg/cm². Y los Experimentales de 5% y 10% de sustitución: a 3 días con 316.33 kg/cm² y 238 kg/cm²; 7 días con 346.67 kg/cm² y 263.33 kg/cm²; 28 días con 387.67 kg/cm² 348.33 kg/cm², con lo cual se puede observar una disminución

de la resistencia a compresión de los morteros experimentales sustituyendo 5% y 10% de paja de cebada con respecto de los morteros control. Con esto inferimos que la ceniza de paja de cebada al menos en las condiciones expuestas no genera ninguna mejora en la resistencia a la compresión. Podríamos asumir esto, a la poca actividad puzolánica del material.

7.3.4 DCENIZA DE MAZORCA DE MAÍZ (Cob Corn Ash, CCA)

Entre los estudios realizados con cenizas de biomásas encontramos los hechos con la ceniza de mazorca de maíz, en la tabla 4 encontramos la composición química de esta, que tiene como principal constituyente el SiO₂ (Dióxido de Silicio, llamado comúnmente sílice).

Tabla 7. Composición química de la ceniza de mazorca de maíz

CONSTITUYENTES QUÍMICOS	COMPOSICIÓN EN PORCENTAJE (%)			
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	1	2	3	4
SiO ₂	67.33	65.39	66.41	66.38
Al ₂ O ₃	7.34	9.14	5.97	7.48
Fe ₂ O ₃	3.74	5.61	3.97	4.44
CaO	10.29	12.89	11.53	11.57
MgO	1.82	2.33	2.02	2.06
SO ₃	1.11	1.10	1.01	1.07
Na ₂ O	0.39	0.48	0.36	0.41
K ₂ O	4.20	4.92	5.64	4.92
TOTAL				
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	74.67	74.53	72.38	73.86

Tomada de: (Adesanya & Raheem, 2010)

Los señores (Adesanya & Raheem, 2010) estudiaron la durabilidad del hormigón hecho con una mezcla de ceniza de mazorca de maíz (CCA). La permeabilidad y el ataque químico con H₂SO₄ y HCl fueron los parámetros clave considerados. Se emplearon nueve clases de cementos mezclados con CCA con un contenido de CCA que oscilaba entre el

0% y el 25%. El reemplazo del 0% de CCA implicó el uso de cemento Portland normal y corriente y sirvió como control.

De los resultados de las diversas pruebas realizadas en este estudio, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ❖ La adición de CCA reduce la absorción de agua de las muestras de hormigón. La reducción óptima se produce con un 10% de sustitución de CCA.
- ❖ La resistencia de los cubos de mortero al ataque químico se mejoró al añadir CCA hasta un nivel de sustitución del 15%, lo que provocó una disminución de la permeabilidad y una reducción de la pérdida de peso debido a la reacción de los especímenes con agua ácida HCl y H₂SO₄.
- ❖ Cuanto mayor sea el contenido de cemento, menor será la pérdida de peso de los especímenes. Por lo tanto, la resistencia al ataque de HCl y H₂SO₄ depende en gran medida de la proporción de la mezcla y el porcentaje de CCA sustitución.

Cabe destacar que el tamaño de partícula influye de manera directa en las propiedades macro mecánicas del concreto cuando se cambia porcentaje de cemento por CCA según (Josephin, Dhanalakshmi, & Ambedkar, 2016) en esta investigación se determinó que la actividad puzolánica del CCA aumento significativamente al triturar la molienda y con un reemplazo óptimo de 20% de CCA por cemento.

7.3.5 CENIZA VOLANTE (Fly Ash, FA).

Las cenizas volantes secas suelen presentarse como una arena de polvo fino, suave al tacto y de un color gris mas o menos claro, según la proporción de hierro y carbón sin quemar.

Sus características físicas y propiedades dependen de multiples factores entre los que cabe

resaltar: La composición química de los componentes incombustibles del carbón, el grado de pulverización del mismo y el tipo de caldera. La finura media de las cenizas volantes brutas, es decir, sin moler, es comparable a la del cemento portland ordinario y su tamaño de grano oscila entre 0.2 y 200 micras de diametro, llegando en casos excepcionales a valores de hasta 500 micras. La densidad de conjunto es aproximadamente de 0.89 g/cm^3 y el peso específico de las partículas oscila entre 2.0 y 2.9 g/cm^3 . La composición química de las cenizas volantes es muy variable dependiendo de la composición químicas de los componentes del carbón. En general poseen los siguientes componentes, en mayor proporción: sílice (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxidos de hierro (Fe_2O_3), cal (CaO) y carbón sin quemar; en menor proporción, generalmente menor del 5% en peso: magnesia (MgO), oxido de azufre (SO_3), alcalinos (Na_2O y K_2O), y, otros constituyentes en cantidades aún mas reducidas, como compuestos de titanio, vanadio, magnesio, fósforo, germanio, galio, etc (CEDEX, 2011).

En el estudio hecho por (Rafieizonooz, Mirza, Razman Salim, Warid Hissin, & Khankhaje, 2016) se preparo especímenes de hormigón que incorporo 0, 20, 50, 75 y 100% de cenizas del fondo en sustitución de la arena que tambien poseen características aceptables para ser usado como posible sustituto parcial en la elaboracion de concreto que puede ser usado en terraplenes de carretera (Cabrera Montenegro, 2016) y 20% de cenizas volantes de carbón en masa, como sustituto del cemento Pórtland ordinario. Determinaron las propiedades de estado fresco y endurecido de los especímenes experimentales. Los resultados que obtuvieron revelo, que la trabajabilidad del hormigón se reducía cuando el contenido de ceniza del fondo aumentaba sustituyendo la arena. Tambien, a la edad de 28 d, no se observó ningún efecto significativo en las resistencias a la compresión, la flexión y la tracción de todas las muestras de hormigón. despues del curado a los 91 y 180 días,

la resistencia a la compresión de las muestras de hormigón experimentales y de control aumentó significativamente pero permaneció casi similar, aunque para (Wang, 2018) las cenizas volantes mejoran la resistencia del hormigón, significativamente, en la edad tardía debido a su reacción puzolánica; también asegura que la mezcla óptima de cemento, cenizas volantes es crucial para el diseño del material del hormigón. Sin embargo, las resistencias a la flexión y a la rotura por tracción de la mezcla experimental que contenía un 75% de cenizas de fondo y un 20% de cenizas volantes superaban con creces a las de la muestra de control. Además, la contracción de secado de las mezclas de hormigón experimental que contenían un 50%, 75% y 100% de cenizas de fondo y un 20% de cenizas volantes fue inferior a la de la mezcla de control. Llegando a la conclusión de que esas mezclas de hormigón experimental pueden utilizarse en varias estructuras (cimientos, sub-bases, pavimentos, etc.), lo que reduciría los problemas de costo, energía y medio ambiente en gran medida.

El estudio hecho en Colombia por (Lamb Bernal & Ramirez Carmona, 2008), en el cual se fabricaron bloques de concreto, en los que se reemplazó cemento por ceniza volante hasta en un 20%, las proporciones de la mezcla de los diferentes lotes de bloques, se obtuvieron de un diseño experimental de mezcla, en el que las variables independientes fueron el agua, el cemento y la ceniza volante, y la variable respuesta la resistencia. Mediante los resultados obtenidos del diseño experimental, optimizaron el uso de ceniza como reemplazo parcial del cemento en bloques de concreto. La ceniza que se empleó para la elaboración de los bloques de concreto, provenía de la quema de carbón bituminoso, procedente de Amagá, Antioquia, Colombia; producida en la empresa textilera Fabricato, la cual se encuentra ubicada en Bello, Antioquia, Colombia. El 60.95% de la composición total de la ceniza de Fabricato equivale a los óxidos SiO_2 , Al_2O_3 y

Fe₂O₃; debido a que el contenido de estos tres óxidos es mayor al 50% la ceniza de Fabricato puede clasificarse según la norma ASTM C 618, como ceniza volante Clase C, La composición de la ceniza se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Composición de la ceniza volante.

COMPUESTO	PORCENTAJE EN PESO
CO ₂	18.26
Na ₂ O	1.85
MgO	1.20
Al ₂ O ₃	20.58
SiO ₂	33.36
K ₂ O	3.80
CaO	3.51
TiO ₂	3.24
Fe ₂ O ₃	7.02

Tomada de: (Lamb Bernal & Ramirez Carmona, 2008)

Dentro de los resultados obtenidos se determino que el modelo cúbico especial obtenido del diseño de mezcla para la predicción de la resistencia, a partir de las proporciones de ceniza, cemento y agua, tenían un coeficiente de regresión de 0.78, este valor es aceptable en la elaboración de bloques de concreto a nivel industrial. Reemplazando un 15% de cemento por ceniza volante y adicionando 276kg de agua en el lote, se obtuvo una resistencia de 14.38Mpa, un 49,8% mayor que la resistencia requerida para la comercialización del bloque y el producto final poseía las características físicas y mecánicas requeridas, en la actualidad no solo se debe tener en cuenta las propiedades mecanicas de concreto sino de la misma manera tener en cuenta la seguridad ambiental que puede tener el mismo, el uso de ceniza volanta puede disminuir la huella de carbono hasta en un 40% manteniendo un buen desempeño tecnico y ambiental (Tosti, van Zomeren, Pels, & Comans, 2018)

7.4 CENIZA DE ESTIÉRCOL BOVINO EN LA ELABORACION DE CONCRETO (Cattle Manure Ash, CMA)

7.4.1 ESTIÉRCOL

El estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. El estiércol de ganado bovino es el más importante y el que se produce en mayor cantidad en las explotaciones rurales, debido a que obra más largo tiempo y con más uniformidad. Según (Castellanos, 1990), el estiércol es el producto que se obtiene de la fermentación anaeróbica sucedida en el intestino de los residuos alimentarios no utilizados por el rumiante. Esta fermentación sintetiza una considerable cantidad de proteína que es desperdiciada, junto con parte de la energía no aprovechada. El estiércol de ganado vacuno varía en su composición según las especies de las que procedan, la forma en que se conserven y la alimentación que se proporciona (Cardenas, 2012). En la tabla 6 se indica el porcentaje en la composición química que posee el estiércol de ganado vacuno.

Tabla 9. Composición química del estiércol de ganado bovino

COMPONENTES	PORCENTAJE (%)
Agua	15.7
Sustancia orgánica seca	60.3
Ph	7.6
Nitrógeno total	2.7
Fosforo (P)	1.6
Potasio (K)	2.8
Calcio (Ca)	3.5
Magnesio (Mg)	2.3
Sodio (Na)	0.3
Azufre (S)	0.3
Boro (B) ppm	64.0

Tomada de: (Cardenas, 2012)

7.4.2 MEZCLA DE CEMENTO CON CENIZA DE ESTIÉRCOL BOVINO

En esta monografía, se podría decir que el 70% de la información encontrada relacionada con la mezcla de estiércol bovino con cemento en la elaboración de concreto, proviene de estudios hechos en china, con lo cual podemos inferir que este país está un paso adelante en las investigaciones relacionadas con este tema.

La ganadería China es una industria llamativa que proporciona diversos productos y ayuda a la economía mundial. Sin embargo, el estiércol de ganado causa problemas ambientales y tiene un grave efecto negativo en la industria. Las estadísticas, indican que hay aproximadamente 2.160 millones de ganado en las granjas de China; cada animal puede llegar a producir hasta 8,2 toneladas de estiércol acumulable por año, la cual contiene un 35% de humedad y un 65% de sólidos (combustibles + cenizas); esto suma unos 17.700 millones de toneladas de estiércol de ganado en un año (Zhou, Zhang, & Chen, Pozzolanic activity of feedlot biomass (cattle manure) ash, 2012). En muchos casos, la producción de estiércol de uno o más animales es más de lo que puede aplicarse con seguridad a las tierras de cultivo de acuerdo con planes de gestión de nutrientes.

Dentro de los estudios realizados encontramos el hecho por (Zhou, Zhang, & Chen, Pozzolanic activity of feedlot biomass (cattle manure) ash, 2012), en el cual determinaron la actividad puzolánica de las cenizas de estiércol de ganado (CMA) y la compararon con las cenizas volantes (FA). Utilizaron la difracción de rayos X (DRX) y el análisis de dispersión de energía (EDA) para determinar la composición química de las CMA y las FA. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Composición química y propiedades físicas del cemento Portland, FA y CMA

Chemical composition											
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	Na ₂ O	Loss by ignition (%)
Cement	47.6	9.17	27.0	1.93	4.97	1.08	0.32	1.29	-	0.72	0.75
CMA ^a	52.0	15.4	7.79	4.91	3.20	2.94	2.92	1.54	0.35	0.66	2.5
FA ^b	55.2	1.58	4.04	1.29	3.23	1.73	-	4.45	-	0.51	0.99
Physical properties	Specific gravity (g/cm ³)			Specific surface (BET) (cm ² /g)			Color				
Cement	1.875			8751			Gray (50%) + black (50%)				
CMA ^a	0.81			5618			Gray (40%) + black (60%)				
FA ^b	2.2			5572			Gray				

^a Cattle manure ash.

^b Fly ash.

Tomada de: (Zhou, Zhang, & Chen, Pozzolanic activity of feedlot biomass (cattle manure) ash, 2012)

Estos indicaron que la CMA se compone principalmente de SiO₂, CaO y Al₂O₃ lo que concuerda con lo expuesto por (Sweeten, Annamalai, Thien, & Mc. Donald, 2003), los componentes químicos del FA y el CMA son generalmente similares, pero están presentes en diferentes proporciones, por ejemplo: El contenido de CaO (15,4% en CMA, 1,58% en FA), y además la CMA contiene cloruro.

**Figura 6.** Ceniza de estiércol bovino quemada a 500 C, 650 C y 800 C respectivamente

La CMA a) y el CMA b) son principalmente polvos grises y negros (objetos negros: carbono no quemado y otros inorgánicos), la CMA c) es un polvo blanco y rojo claro (objetos rojos: óxido férrico) (Chen, Zhou, Zhang, & Hui, 2019).

La forma microscópica del cemento, de la FA y la CMA se muestran en la figura 6. La imagen a) y b) respectivamente, muestran que el cemento tiene una microestructura cristalina, y la FA tiene una microestructura subsférica. La microestructura de la CMA en la imagen c) consiste principalmente en flóculos, como de igual forma lo mencionan.

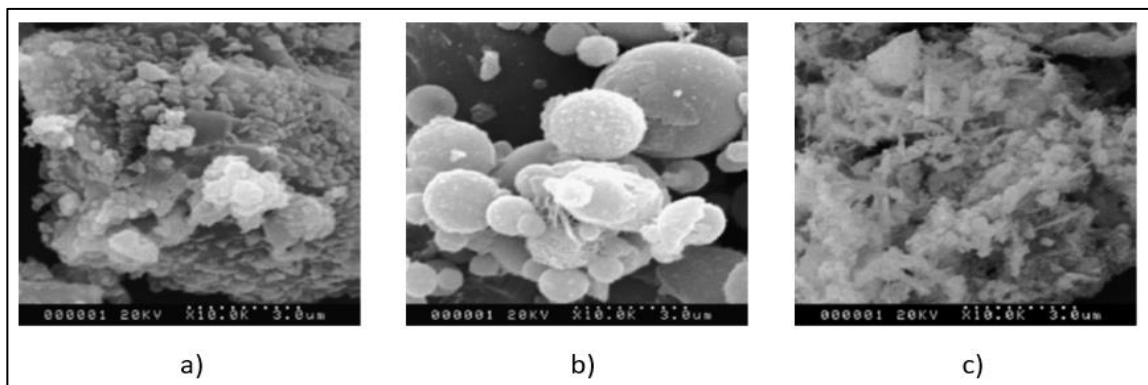


Figura 7. Forma microscópica del cemento (a), FA (b) y CMA (c)

Dentro de sus conclusiones encontramos que los especímenes que contenía CMA y el FA mostraba una mayor fuerza de compresión a los 28 y 56 días en comparación a los de control. Los resultados también indicaron que el 15% de sustitución de cemento satisfizo la fuerza del hormigón. La CMA también puede utilizarse en el hormigón para reemplazar parcialmente el cemento de la misma manera que las cenizas volantes (FA) se utilizan comúnmente. Los resultados de los ensayos de flujo eléctrico de las mezclas de hormigón indican que la resistencia a la penetración del anión cloruro del hormigón aumenta con la edad de este, debido a su aumento de la actividad puzolánica con la edad.

En otro estudio realizado por (Zhou, Tang, Xu, & Chen, 2015), analizaron la fuerza, trabajabilidad y permeabilidad del agua, en el concreto mezclado con ceniza de estiércol bovino. Trabajaron tres tipos de ceniza de CMA, en la cual, la diferencia entre ellas fue a la temperatura a la que se obtuvieron, estas fueron de 200 C, 500 C y 800 C; a las que llamaron CMA, CMA-M y CMA-U, respectivamente.

Los análisis químicos de fluorescencia de rayos X de la CMA y OPC (Cemento Portland Ordinario, por sus siglas en inglés) son mostrados en la tabla 8, obteniendo resultados similares al estudio hecho por (Zhou, Zhang, & Chen, Pozzolan activity of feedlot biomass (cattle manure) ash, 2012).

Tabla 11. Composición química y propiedades físicas del cemento Portland y CMA

Chemical composition (wt.%)											
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	C	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Loss ignition
Cement	47.6	9.17	27.0	1.93	4.97	1.08	4.30	1.29	0.72	0.32	0.75
CMA	53.1	13.4	8.75	4.96	3.54	3.23	5.78	2.50	0.76	2.79	4.69
CMA-M	54.8	15.1	8.67	5.17	3.59	3.22	2.55	2.09	0.73	3.03	4.39
CMA-U	55.6	15.6	9.18	5.10	3.79	3.30	0	2.41	0.878	3.05	11.12
Physical properties	Packing density (g/cm ³)			Specific surface (cm ² /g)				Color (%)			
Cement	1.875			3870				Gray (50), black (50)			
CMA	0.351			5572				Gray (40), black (60)			
CMA-M	0.362			4391				Gray (80), black (20)			
CMA-U	0.382			4056				White (80), red (20)			

Tomado de: (Zhou, Tang, Xu, & Chen, 2015)

Los análisis mineralógicos de difracción de rayos X de la CMA y OPC se muestran en la figura 7. Los resultados del XRD indican que la composición mineralógica de la serie CMA (CMA, CMA-M y CMA-U) incluyen mayormente materiales inorgánicos

compuestos de material no cristalino (amorfo) como el SiO_2 y algunos componentes semi-cristalinos, como el CaCO_3 .

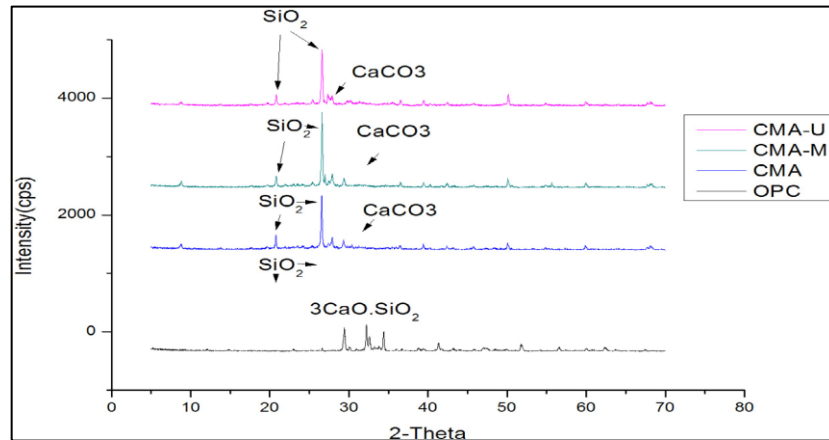


Figura 8. Análisis mineralógico XRD del CMA y el Cemento Portland
Tomada de: (Zhou, Tang, Xu, & Chen, 2015)

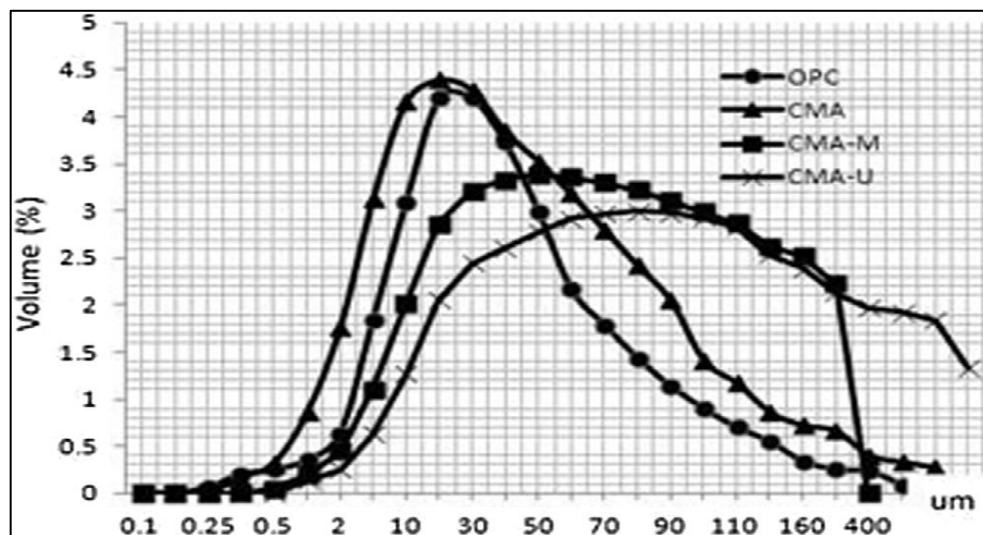


Figura 9. Distribución del tamaño de las partículas de CMA y OPC
Tomada de: (Zhou, Tang, Xu, & Chen, 2015)

En la figura 8 podemos notar que el tamaño medio de las partículas del OPC es aproximadamente de 20-30 μm (d_{50}), y la distribución del tamaño medio de las partículas de la CMA es aproximadamente 15- 25 μm . Las distribuciones del tamaño medio de las partículas del CMA-M y CMA-U son 40-60 μm y 80-90 μm , respectivamente.

De los resultados obtenidos podemos decir que, de los tres tipos de CMA estudiados, la fuerza de compresión del hormigón aumentó con el incremento del tamaño de las partículas de la CMA a la CMA-M, pero disminuyó de la CMA-M a la CMA-U. El porcentaje, la velocidad y el coeficiente de absorción de agua, aumentaron con el incremento del tamaño de las partículas en el hormigón de la CMA (de CMA a CMA-M a CMA-U) a los 7 y 28 días. Y en términos de trabajabilidad general, resistencia y permeabilidad del agua, la mezcla con CMA-M es el hormigón más óptimo, ósea la ceniza obtenida a 500 C.

Según (Zhou S. , Zhang, Shen, & Guo, 2019), las partículas de CMA con tamaños entre <0.3 mm y >0.65 mm son propicias para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón. Desde una perspectiva estructural, las partículas de CMA obtenidas de la quema del estiércol a 650 C son más óptimas para el desarrollo de la fuerza del hormigón, debido a efectos de relleno, es decir, las partículas minerales de diferentes tamaños influyen en el contenido de vacío del agregado de hormigón y el material de unión (por medio de efectos de relleno) y, a su vez, la compacidad y la resistencia del hormigón. Las partículas minerales activas de diferentes tamaños tienen una superficie específica y una actividad superficial diferentes, lo que provoca variaciones en la velocidad y el grado de interacción entre las partículas y los productos de hidratación Ca(OH)_2 del material aglutinante del cemento. Estas variaciones influyen en la producción de productos de hidratación de C-S-H y, a su vez, en la conexión entre el agregado y los productos de unión y, en consecuencia, la resistencia del hormigón.

Haciendo uso del cemento de fosfato de magnesio (MPC) los señores (Feng, Zhou, & Zhao, 2016), examinaron el efecto de la CMA añadida a la mezcla, producida a

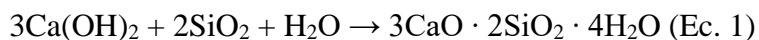
temperaturas de combustión de 500 C, 650 C y 800 C, sobre la trabajabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón. Con esto resaltamos que el rango de temperatura de quemado en los diferentes estudios oscila entre los 500 C y 800C. El MPC es un gel que endurece al aire, está compuesto de magnesio quemado, fosfato y un retardador; posee una alta fuerza temprana, buena cohesión, resistencia al desgaste y muchas otras propiedades ventajosas. El MPC también puede solidificar los residuos industriales, lo que hace que la CPM sea un material apropiado para mezclar con CMA. La mezcla del cemento de fosfato de magnesio y la ceniza de estiércol bovino, tuvo resultados adversos en las propiedades mecánicas, aunque estas variaron con el tipo de ceniza obtenida a mayor temperatura.

Uno de los componentes del concreto es el agua, esta no solo influye en el fraguado al momento de hacer la mezcla, sino que también afecta a las estructuras hechas de hormigón en el día a día, debido a lluvias y otros factores que hacen que el agua pueda filtrarse en el hormigón poroso y las construcciones se humedezcan. La ceniza de estiércol de vaca tiene cualidades puzolánicas que pueden producir una mayor calidad en estructuras de hormigón, como por ejemplo mejorar el pH, la resistencia a la compresión y a la tracción, una mejor durabilidad y actividades antibacterianas (Vishwakarma, K., & D., 2018).

7.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS CENIZAS DE BIOMASAS Y LA CENIZA DE ESTIÉRCOL BOVINO

La resistencia de los materiales cementosos depende de su hidratación y contenido de silicato de calcio. Según (Agarwal, 2006) la actividad puzolánica de los materiales depende de una combinación de propiedades físicas, químicas y mecánicas. Cuando las cenizas reemplazan parcialmente el cemento, el Ca(OH)_2 producido reacciona con sílice o silicatos amorfos y reactivos en las cenizas en presencia de agua, para formar productos

compuestos de hidróxido, similar a la hidratación del cemento y así añadir más fuerza al hormigón. Estas son las llamadas reacciones puzolánicas. Un ejemplo típico es:



En la Tabla 12. tenemos un cuadro comparativo de los constituyentes más importantes al momento de las reacciones en la mezcla.

Tabla 12. Cuadro comparativo entre las distintas biomazas

TIPO DE CENIZA	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% peso)	TEMPERATURAS DE TRABAJO (°C)	% DE SUSTITUCIÓN	RESULTADO
CASCARILLA DE ARROZ	SiO ₂ – 91,39 K ₂ O – 2,17 CaO – 0,39	500 – 750	12 – 15	Positivo
CAÑA DE AZUCAR	SiO ₂ – 64,23 Al ₂ O ₃ – 9,08 CaO – 8,17	700	15	Positivo
MAZORCA DE MAÍZ	SiO ₂ – 67,33 CaO – 10,29 Al ₂ O ₃ – 7,34	500 – 800	0 – 25	Positivo
PAJA DE CEBADA	K ₂ O – 30,96 Al ₂ O ₃ – 25,34 SiO ₂ – 23,45	750	5 – 10	Negativo
CENIZA VOLANTE	SiO ₂ – 55,20 Al ₂ O ₃ – 4,04 Fe ₂ O ₃ – 3,23 CaO – 1,58	500 – 650	10 – 30	Positivo
ESTIÉRCO L BOVINO	SiO ₂ – 52,0 CaO – 15,4 Al ₂ O ₃ – 7,79 Fe ₂ O ₃ – 3,20	500 – 650	10 – 30	Positivo

Tomada de: Elaboración propia

En términos generales podemos decir que la composición química entre las cenizas de biomasa es similar, por lo tanto, la actividad puzolánica es existente en cada una de ellas, pero la proporción de cal hidratada (Ca(OH)₂) en CMA es del 15,4% comparado con el 1,58% de FA, 11.5 de CCA, 8.17 de SCBA y el 0.39 de RHA. Dada la Ec. 1, se puede

deducir que, la mezcla con CMA produce más silicato de calcio hidratado que el del resto, induciendo una mayor reactividad puzolánica.

La evidencia física de esto se ve en las microestructuras de los materiales. Los flóculos en la CMA (Figura 6) ayudan a producir una microestructura anfractuosa en el producto hidratado. La finura de los materiales puzolánicos es la propiedad más importante que afecta a la actividad puzolánica.

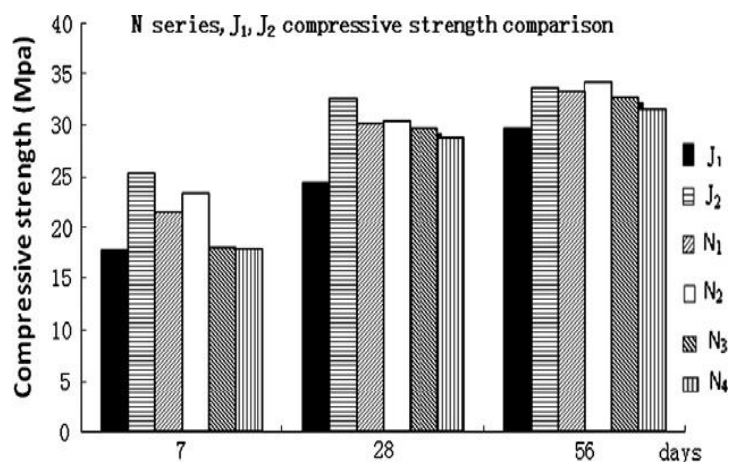


Figura 10. Resistencias a la compresión del cubo de hormigón a los 7, 28 y 56 días para los hormigones de las series N y J.

Tomada de: (Zhou, Zhang, & Chen, Pozzolanic activity of feedlot biomass (cattle manure) ash, 2012)

En la figura 10 podemos ver los resultados de los ensayos hechos por parte de los autores, para medir la resistencia a la compresión del concreto, encontramos que la serie J₁ (sin aditivos) y J₂ (con aditivos) son la muestra de control, y las series N₁ a la N₄ son aquellas con los distintos porcentajes de ceniza de estiércol bovino sustituida, siendo del 10, 15, 20 y 30%, respectivamente; claramente podemos apreciar que la sustitución de cemento por ceniza de estiércol bovino género en todos los porcentajes, resultados positivos, ósea que la resistencia a la compresión aumento, encontrando en N₂, es decir, en el reemplazo del

15% la mejor versión de esta. La alta fuerza de 7 días se debió posiblemente a la microestructura flocular de la CMA, lo que dio como resultado una microestructura anfractuosa del producto hidratado; a los 28 días y 56 días la gran fuerza fue el resultado de una mayor actividad puzolánica.

8 CONCLUSIONES

Dentro del margen estudiado podemos destacar las siguientes conclusiones:

- ❖ La ceniza de estiércol bovino dado su propiedades químicas y físicas es un material idóneo para su uso como reemplazo de cemento en la elaboración de concreto, su actividad puzolánica lo coloca por encima de la ceniza volante, que ya es usada como reemplazo parcial del cemento.
- ❖ Entre los porcentajes de cenizas usados, el que mejor resultados tuvo fue el reemplazo del 15% de ceniza.
- ❖ La temperatura optima de quemado para la obtención de la ceniza, y así garantizar un tamaño de partículas que contribuya a la mejora de las propiedades del hormigón, oscila entre los 500 C y los 650 C.
- ❖ Moler la ceniza podría traer ventajas al momento de estudiar la resistencia a la compresión del concreto, analizar el tamaño de grano es primordial.

9 BIBLIOGRAFÍA

- 360enconcreto. (2020). *Concreto traslúcido: viendo a través de las estructuras*. Obtenido de Argos: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-traslucido>
- Adesanya, D. A., & Raheem, A. A. (2010). A study of the permeability and acid attack of corn cob ash blended cements. *Construction and Building Materials*, (24): 403-409.
- Agarwal, S. K. (2006). Pozzolanic activity of various siliceous materials. *Cement and Concrete Research*, (36): 1735 - 1739.
- Alireza Zareei, S., Ameri, F., & Bahrami, N. (2018). Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 184 (2018) 258–268.
- APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables). (2020). *¿Que es la biomasa?* Obtenido de APPA: <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- Askeland, D. R. (2012). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores.
- BP. (2015). *Statistical Review of World Energy*. Obtenido de <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Cabrera Montenegro, M. (2016). Viabilidad de aplicación de materiales reciclados y cenizas de biomasa en la fabricación de materiales tratados con cemento. *Tesis Doctoral para aspirar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba*. Córdoba, Argentina.
- Cardenas, J. (2012). Evaluación de la calidad de biogás y biol en digestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pretratados con la técnica del Bocashi en la UNALM. *Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Castellanos, J. (1990). La eficiente utilización de los estiércoles como fertilizantes y mejoradores del suelo. *Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo*, 321-335.
- CEDEX. (diciembre de 2011). *cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escoria*. Obtenido de [cedexmateriales.es: http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/24/diciembre-2011/valorizacion/propiedades-del-residuo/23/las-cenizas-volantes.html](http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/24/diciembre-2011/valorizacion/propiedades-del-residuo/23/las-cenizas-volantes.html)
- Chagas Cordeiro, G., Toledo Filho, R., & Rego Fairbairn, E. (2009). Use of ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete. *Materials and Structures*, (42): 983–992.

- Chao-Lung, H., Anh-Tuan, B. L., & Chun-Tsun, C. (2011). Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *Construction and Building Materials*, (25): 3768 - 3772.
- Chen, X., Zhou, S., Zhang, H., & Hui, Y. (2019). Alkali silicate reaction of cement mortar with cattle manure ash. *Construction and Building Materials*, (203): 722 - 733.
- Contrafatto, L. (2017). Recycled Etna volcanic ash for cement, mortar and concrete manufacturing. *Construction and Building Materials*, (151): 704 - 713.
- Della, V., Kuhn, I., & Hotza, D. (2002). Strength development of concrete with rice-husk ash. *Cement and Concrete Composites. Materials Letters*, 57(4): 585-592.
- FEDEGAN. (Marzo de 2014). *DocPlayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/96224893-Federacion-colombiana-de-ganaderos-fedegan-fondo-nacional-del-ganado-foro-ganaderia-regional-vision-cordoba-resumen-y-conclusiones.htm>
- Feng, P., Zhou, S., & Zhao, J. (2016). Effect of cattle manure ash on workability and mechanical properties of magnesium phosphate cement. *Construction and Building Materials*, (129): 79 - 88.
- Gritsada, S.-I., & Natt, M. (2016). Effect of incinerated sugarcane filter cake on the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 1 - 9.
- ICA. (2017). *Censo Pecuario Nacional*. Obtenido de ICA: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2017.aspx>
- Josephin, A., Dhanalakshmi, J., & Ambedkar, B. (2016). Experimental investigation on rice husk ash as cement replacement on concrete production. *Construction and Building Materials*, (127): 353 - 362.
- Lamb Bernal, C. P., & Ramirez Carmona, M. E. (2008). Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. *Investigaciones Aplicadas*, (4): 08-15.
- Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Delvasto, S., & Monzo, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Rev.Latinam.Metal.mat*, (35): 285 - 294.
- Morales Avalos, L. E. (2019). Resistencia a Compresión del Mortero sustituyendo en 5% y 10 % de Cemento por Cenizas de Paja de Cebada. Chimbote, Perú.
- Nagrockiene, D., & Daugėla, A. (2018). Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash. *Construction and Building Materials*, (174): 369 - 375.

- Naji Givi, A., Abdul Rashid, S., A. Aziz, F. N., & Mohd Salleh, M. A. (2010). Contribution of Rice Husk Ash to the Properties of Mortar and Concrete: A Review. *Journal of America Science*, 6(3): 157-165.
- Newell, J. (2010). *Ciencia de Materiales. Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico: Alfaomenga grupo editor, S.A. de C.V.
- Newell, J. (2010). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en Ingeniería 1th*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Ofuyatan, O. M., & Edeki, S. O. (2018). Dataset on the durability behavior of palm oil fuel ash self compacting concrete. *ScienceDirect*, (19): 853 - 858.
- Patiño, J. C. (2020). *Concreto avanzado: El material del futuro, ahora*. Obtenido de Argos: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-avanzado-material-del-futuro-ahora>
- Profesionales de Bolsa. (Febrero de 2011). *Informe del Sector Ganadero Colombiano*. Obtenido de Profesionales de Bolsa: http://www.profesionalesdebolsa.com/aym_images/files/Documentos/Analisis%20de%20mercado/FCP/Informe%20Especial%20Ganadero/2011/02_Ganadero_Febrero_2011.pdf
- Rafieizonooz, M., Mirza, J., Razman Salim, M., Warid Hissin, M., & Khankhaje, E. (2016). Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. *Construction and Building Materials*, (116): 15-24.
- Salas, J., Castillo, P., Sanchez de Rojas, I., & Veras, J. (1986). Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros. *Materiales de construcción*, 36(203), 21 - 39.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá D.C. - Colombia: Bhandar Editores Ltda.
- Soto Izquierdo, I., Soto Izquierdo, O., & Ramalho, M. (2018). Propiedades físicas y mecánicas del hormigón usando polvo residual de desechos orgánicos como reemplazo parcial del cemento. *Revista de Ingeniería de Construcción (RIC)*, (Vol 33): 229 - 240.
- Sweeten, J. M., Annamalai, K., Thien, B., & Mc. Donald, L. A. (2003). Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part I. Feedlot biomass (cattle manure) fuel quality and characteristics. (ELSERVIER, Ed.) *Fuel*, (82): 1167 - 1182.
- Tosti, L., van Zomeren, A., Pels, J., & Comans, R. (2018). Technical and environmental performance of lower carbon footprint cement mortars containing biomass fly ash as a secondary cementitious material. *Resources, Conservation & Recycling*, (134): 25 - 33.

- Velay Lizancos, M., Azenha, M., Martinez Lage, I., & Vázquez Burgo, P. (2017). Addition of biomass ash in concrete: Effects on E-Modulus, electrical conductivity at early ages and their correlation. *Construction and Building Materials*, (157): 1126 - 1132.
- Vishwakarma, V., K., V., & D., R. (2018). Detailed studies of cow dung ash modified concrete exposed in fresh water. *Journal of Building Engineering*, (20): 173 - 178.
- Wang, X.-Y. (2018). Analysis of hydration and strength optimization of cement-flyash-limestone ternary blended concrete. *Construction and Building Materials*, (166): 130–140.
- Zhou, S., Tang, W., Xu, P., & Chen, X. (2015). Effect of cattle manure ash on strength, workability and water permeability of concrete. *Construction and Building Materials*, (84): 121 - 127.
- Zhou, S., Zhang, S., Shen, J., & Guo, W. (2019). Effect of cattle manure ash's particle size on compression strength of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, (10): e00215.
- Zhou, S., Zhang, X., & Chen, X. (2012). Pozzolanic activity of feedlot biomass (cattle manure) ash. *Construction and Building Materials*, (28): 493 - 498.