

**ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE INVESTIGACIONES SOBRE LA ADICIÓN DE  
RESIDUOS DE BIOMASA AL CONCRETO Y LA AFECTACIÓN EN SU  
RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

**CRISTIAN SANTIAGO MORA SIERRA  
JUAN FERNANDO CONCHA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
FLORIDABLANCA  
2021**

**ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE INVESTIGACIONES SOBRE LA ADICIÓN DE  
RESIDUOS DE BIOMASA AL CONCRETO Y LA AFECTACIÓN EN SU  
RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

**CRISTIAN SANTIAGO MORA SIERRA  
JUAN FERNANDO CONCHA GONZALEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS CIVILES**

**DIRECTOR  
Dra. CLAUDIA RETAMOSO LLAMAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
FLORIDABLANCA  
2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

*Dedico este trabajo a mi madre, Elisa Sierra Higuera por enseñarme a luchar por mis sueños y trabajar constantemente por ellos, por ser el pilar de mi vida y mi apoyo en todo momento.*

*A mis hermanos Daniel Camilo Mora Sierra y Yesid Mora Sierra por ser mi ejemplo y modelo a seguir, por motivarme a ser mejor persona y un gran profesional, por guiarme en esta etapa tan importante, por creer y confiar en mí.*

*Todo esto gracias a ustedes, y su amor. Muchas gracias.  
Son mi vida ...*

**Cristian Santiago Mora  
Sierra**

*Dedico este trabajo al Sr Concha y Sra. González por toda su paciencia, su amor y constancia.*

*Al Ing. Gerardo A. Concha Villaquirán y Sonia Sánchez de Concha por toda una vida de ejemplo, amor y disciplina.*

**Juan Fernando Concha  
González**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de tener una gran familia, por permitirme estar junto a grandes personas que estuvieron pendientes de todo este proceso y que de una u otra manera fueron partícipes de esta formación.

Gracias a mi madre por ser mi pilar de vida, por el amor, comprensión, apoyo y confianza que siempre ha tenido hacia mí y mis proyectos. Por todas sus enseñanzas y buenos consejos de vida que han sido fundamentales para mí. Por su gran esfuerzo para sacarnos adelante y hacer de nosotros grandes personas superando siempre los obstáculos. Por enseñarme a disfrutar cada paso que doy y vivir alegre siempre encaminado a progresar.

A mis hermanos Daniel y Yesid por ser mi modelo a seguir, por ser esa voz de aliento inspiradora para superarme cada día y ser una persona íntegra, que busca siempre crecer y mejorar en todos los aspectos.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme aprender y crecer como persona, además de infundir en mis grandes conocimientos. A todos los docentes que fueron parte del proceso y que con sus conocimientos iban aportando cada vez más y más.

Agradezco a la Dra. Claudia Retamoso Llamas por su apoyo, acompañamiento y conocimiento que fue muy valioso para el desarrollo de este proyecto y culminación de esta etapa.

A mis compañeros y amigos, por estar presentes y aportar de muchas maneras en este periodo que culmina, por compartir tantos momentos valiosos e inolvidables que forman parte de lo que soy hoy.

A todos muchas gracias por contribuir al desarrollo de esta meta y espero poder contar con ustedes para todas las que vienen.

**Cristian Santiago Mora Sierra**

Agradezco de todo corazón a la Dra. Claudia Retamoso y a la Dra. Sonia Constanza Concha por su apoyo, su paciencia, dirección y acompañamiento.

Agradezco a quien ha estado siempre ahí con su amor incondicional, ella con su paciencia infinita se merece disfrutar de este logro tanto como yo.

**Juan Fernando Concha González**

## CONTENIDO

1	OBJETIVOS.....	14
1.1	Objetivo principal.....	14
1.2	Objetivos específicos .....	14
2	DELIMITACION DEL PROBLEMA .....	15
3	JUSTIFICACIÓN.....	16
4	ANTECEDENTES.....	17
5	MARCO TEORICO .....	18
5.1	Producción del cemento en Colombia.....	18
5.2	Bio-masa .....	19
5.2.1	Tipos de Bio-masa obtenidas de la bibliometría (Matriz).....	20
5.3	Adición de bio-masa al concreto .....	27
5.4	Materiales cementicios suplementarios (MCS- SCMs) .....	28
5.4.1	Propiedades físico-químicas.....	29
5.4.2	Propiedades físico-mecánicas.....	32
5.5	Durabilidad.....	33
5.5.1	Resistencia a la penetración de Iones de Cloruro .....	34
5.5.2	Resistencia a los Sulfatos.....	34
5.5.3	Volumen de poros y durabilidad .....	34
5.5.4	Profundidad de carbonatación y durabilidad.....	35
5.5.5	Resistividad eléctrica y durabilidad.....	36
5.5.6	Transferencia térmica y durabilidad.....	37
5.5.7	Lixiviación .....	37
5.5.8	Análisis por microondas.....	38
5.5.9	Retracción .....	38
5.6	Bibliometría .....	39
5.7	Tipos de indicadores Bibliométricos.....	39
6	METODOLOGIA.....	40
6.1	Tipo de estudio.....	40
6.2	Identificación y selección de los artículos. ....	40

6.2.1	Universo de estudio.....	40
6.2.2	Criterios de inclusión .....	40
6.2.3	Criterios o variables.....	41
1.3	Procedimientos: .....	43
7	INSTRUMENTO .....	45
7.1	Plan de análisis estadístico:.....	45
8	RESULTADOS .....	45
9	CONCLUSIONES .....	82
10	RECOMENDACIONES .....	83
11	ANEXOS .....	83
11.1	ACCESO A MATRIZ EN LINEA.....	83
11.2	Matriz de información 2015-2020.....	84
12	BIBLIOGRAFIA .....	85

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales adiciones del cemento .....	29
Tabla 2. Listado de revista con publicaciones sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020. ....	47
Tabla 3. Listado de autores más relevantes con publicación de más de 2 artículos sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020. ....	48
Tabla 4. Listado de citas por artículo incluidos en publicaciones sobre adición de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020. ....	53
Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.....	59
Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020. ....	67
Tabla 7. Artículo referente al volumen de poro .....	75
Tabla 8. Artículo referente a la permeabilidad al vapor .....	76
Tabla 9. Artículo referente a la conductividad térmica .....	76
Tabla 10. Artículo referente a la contracción del hormigón.....	77
Tabla 11. Artículo referente a la absorción de microondas.....	78
Tabla 12. Artículo referente a la lixiviación del concreto .....	79
Tabla 13. Artículo referente a la resistividad eléctrica .....	80
Tabla 14. Artículo referente a la conductividad eléctrica.....	80
Tabla 15. Artículo referente al método BET Brunauer-Emmett-Teller (BET).....	81
Tabla 16. Ejemplo análisis artículo efectivo.....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones de CO <sub>2</sub> por producción de cemento en China .....	12
Figura 2. Clasificación de residuos Colombia .....	20
Figura 3. Cenizas de desechos de madera (WWA). .....	21
Figura 4. Cenizas volantes de carbón. Porcentajes de carbón quemado .....	22
Figura 5. Ceniza de huesos de oliva y escoria de altos hornos .....	23
Figura 6. Cenizas de residuo de pulpa de papel .....	24
Figura 7. Cenizas de combustible de aceite de palma .....	25
Figura 8. Ceniza de fondo residuos no leñosos (Paja de caña de azúcar).....	26
Figura 9. Corcho granulado.....	27
Figura 10. Profundidad de carbonatación en una muestra de concreto .....	36
Figura 11. Métodos de resistividad eléctrica .....	36
Figura 12. Clasificación de indicadores bibliométricos .....	42
Figura 13. Diagrama metodológico .....	44
Figura 14. Patrón de producción científica por año de entrega- Publicaciones entre 2015-2020.....	45
Figura 15. Distribución global de los artículos publicados sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad. Periodo 2015 – 2020. ....	46
Figura 16. Distribución modal de compresión .....	59
Figura 17. Dispersión modal de compresión .....	60
Figura 18. Porcentaje de material vs Tasa de absorción de agua.....	68
Figura 19. Porcentaje de material vs Porosidad .....	69
Figura 20. Porcentaje de material vs Densidad .....	70
Figura 21. Porcentaje de material vs Coeficiente de capilaridad .....	71
Figura 22. Porcentaje de material vs Penetración de iones de cloruro.....	72
Figura 23. Porcentaje de material vs Profundidad de carbonatación.....	74

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Análisis bibliométrico de investigaciones sobre la adición de residuos de biomasa al concreto y la afectación en su resistencia y durabilidad

**AUTOR(ES):** Juan Fernando Concha González  
Cristian Santiago Mora Sierra

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Claudia Patricia Retamoso Llamas

### RESUMEN

El uso de la biomasa y las cenizas de biomasa como materiales Cementicios suplementarios o sustitutivos parciales, plantean una alternativa poco explorada, pero con mucho potencial dentro de la industria de la construcción. Dar un segundo uso a residuos permite minimizar el impacto ambiental pues estos desechos se podrían acumular en rellenos y ser contaminantes. Esta investigación hace un recuento por la literatura recuperada de la base de datos SienceDirect en el periodo comprendido entre el 2015 y el 2020 con el fin de analizar y hacer seguimiento sobre el uso de materiales no convencionales provenientes de residuos de biomasa y como su adición afecta su desempeño estructural a partir de los parámetros de resistencia mecánica y durabilidad.

### PALABRAS CLAVE:

Concreto; Cemento; Cenizas Biomasa; Desechos agro-industriales; Fuerza; Resistencia; Durabilidad; Materiales Cementicios suplementarios

  
Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Bibliometric analysis of research on the addition of biomass residues to concrete and the effect on Its strength and durability

**AUTHOR(S):** Juan Fernando Concha González  
Cristian Santiago Mora Sierra

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Claudia Patricia Retamoso Llamas

### ABSTRACT

Using biomass and biomass ashes as supplementary cementitious or partial substitutes sets out a little-explored alternative with great potential within the construction industry. Giving wastes a second use allows minimizing the environmental impact given that these wastes could accumulate in landfills and be pollutants. This research recounts the literature retrieved from the ScienceDirect database between 2015 and 2020 to analyze and monitor the use of unconventional materials from biomass residues and how their addition affects its structural performance based on the parameters of mechanical resistance and durability.

### KEYWORDS:

Concrete; Cement; Mortar; Biomass ash residues; Agro-Industrial; Resistance; Durability; Supplementary cementitious materials

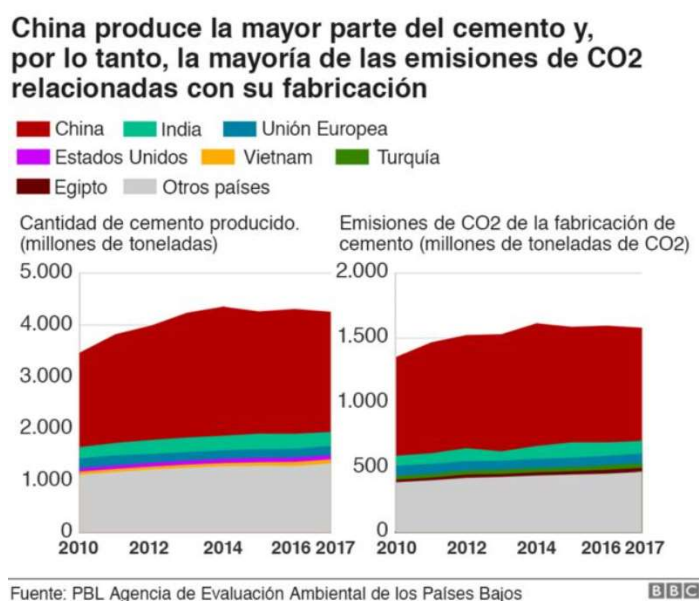


Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

El ingrediente clave del concreto, el cual genera las propiedades de resistencia y durabilidad que conocemos es el cemento, este ha dado forma a una gran parte de la infraestructura que se ve día a día en nuestro entorno, sin embargo, dado que es el material que más se usa y se produce a nivel mundial, acarrea alrededor de un 8% de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial debido a los procesos necesarios para su elaboración entre los cuales esta: combustión química y térmica.

Suponiendo a la industria de producción del cemento como un territorio, este sería el tercer emisor de dióxido de carbono a nivel mundial, lo cual es una cifra bastante alta. Esta industria emite más dióxido de carbono en comparación con la gasolina para aviones (2.5%) y se acerca al aporte mundial de la agricultura (12%).



Fuente: [https://ichef.bbci.co.uk/news/640/cpsprodpb/ABBC/production/\\_104846934\\_spanish\\_2\\_biggest\\_cement\\_producers\\_976.png](https://ichef.bbci.co.uk/news/640/cpsprodpb/ABBC/production/_104846934_spanish_2_biggest_cement_producers_976.png)

Figura 1. Emisiones de CO2 por producción de cemento en China

Para que el sector del cemento este en concordancia con el Acuerdo de Paris sobre el cambio climático, para el 2030 su aporte anual de emisiones debe reducirse en un 16% (Lehne & Preston, 2018).

En Colombia se creó el ICPC (1973-2009) (Instituto Colombiano de Productores de Cemento), una entidad que surgió con la ayuda de algunas compañías cementeras en el país que tenía como objetivo fomentar la industria del cemento.

Así pues, el ICPC tenía como objetivo presentar mes a mes la estadística sobre producción y distribución de cemento gris por departamentos, segmentos de consumo, indicadores de importación y exportación del cemento en Colombia.

El ICPC finalizó operaciones en el 2009 después de esto, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística asumió la producción de estadísticas del cemento gris en el país.

La producción de cemento gris en Colombia para junio de 2021 fue de 1.108,4 miles de toneladas, lo que representó un crecimiento del 13,4% con relación al mismo mes de 2020 (DANE, Estadísticas de cemento gris, 2021).

Se hace evidente entonces la necesidad de minimizar la producción de la demanda energética y emisiones de Co<sub>2</sub> por medio de la investigación sobre alternativas ecoeficientes. De hecho, en algunos de los códigos más influyentes como por ejemplo las normas Eurocodigo EC2 y ACI ya se consideran alternativas al cemento Portland y actualmente son un área de investigación activa.

En las bases de datos consultadas se ofrece diferentes alternativas de materiales de reemplazo total o parcial provenientes de materia orgánica e inorgánica. Por lo general los materiales provenientes de desechos orgánicos se queman para reducir su volumen o para la obtención de energía; de esta forma encontrar un segundo uso para estas cenizas permite alargar su ciclo de vida, reducir las emisiones contaminantes y mejorar la sostenibilidad.

Según lo anterior, Esta investigación hace un recuento por la literatura (periodo comprendido entre 2015 y el 2020) recuperada de la base de datos ScienceDirect para analizar y hacer seguimiento sobre la adición de residuos de biomasa al concreto y su afectación en el desempeño estructural medido a partir de los parámetros de resistencia mecánica y su durabilidad.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo principal**

- Utilizar indicadores bibliométricos para el análisis y seguimiento de publicaciones científicas, sobre todo lo relacionado con la adición de residuos de biomasa al concreto y su afectación en los parámetros de resistencia y durabilidad del periodo comprendido entre el año 2015 al 2020.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar el análisis de la base de datos ScienceDirect desde el del periodo comprendido entre el año 2015 al 2020
- Sistematizar la información de la literatura recuperada relacionada con los parámetros de resistencia y durabilidad.
- Evaluar los parámetros de resistencia y durabilidad en la información sistematizada de la literatura recuperada relacionada con la adición de bio-masa a la pasta de concreto.

## 2 DELIMITACION DEL PROBLEMA

Este proyecto de investigación está enfocado en el estudio descriptivo bibliométrico cuantitativo donde se analizará el material bibliográfico obtenido de la base de datos Science Direct en el periodo comprendido entre 2015 y 2020 con el fin de realizar aportes tanto a la comunidad educativa como al sector de la construcción proporcionando garantías y datos científicos sobre la utilización de los diferentes materiales sobrantes de procesos industriales (biomasa) ,con los cuales se busca determinar cómo se ven afectadas las propiedades de resistencia y durabilidad de este material. Para realizar la búsqueda se emplea el siguiente motor de búsqueda el cual filtra la información respectiva a los parámetros a usar que son: Concreto, biomasa, resistencia, durabilidad y materiales suplementarios cementicios. “[concrete OR cement] AND [“biomass fly ash] AND [strength OR resistance] AND durability AND [“supplementary cementitious materials”] “. La selección, búsqueda y análisis de la información se hará en inglés. Así mismo, este proyecto busca disminuir el impacto ambiental que se produce debido a los procesos constructivos y de fabricación en los cuales está el concreto como insumo primario analizando su comportamiento y características frente a la biomasa. Este proyecto implicará específicamente el uso de frecuencias absolutas, medidas de tendencia central y de dispersión, para presentar los resultados en textos, tablas y gráficos, buscando con esto facilidad de comprensión por parte de los lectores.

### 3 JUSTIFICACIÓN

El concreto utilizado como material de construcción se obtiene al mezclar cemento, agua, agregados naturales y en algunos casos aditivos. Las propiedades mecánicas, la durabilidad y la estética del mismo han hecho que sea un material ampliamente utilizado para la creación de todo tipo de proyectos de construcción en Colombia.

Según el departamento administrativo nacional de estadística, la industria de la construcción en Colombia; que, aunque actualmente presenta una disminución de hasta el 31,7% del valor agregado del sector de la construcción en el segundo trimestre de 2020 (abril-junio) con respecto al mismo periodo del año 2019 (todos, 2020), sigue representando un aporte significativo a los sectores e indicadores económicos del país. Las publicaciones científicas institucionales e incluso nacionales relacionadas con aspectos bibliométricos sobre la inclusión de residuos de bio-masa al concreto y como se ven afectadas las propiedades de resistencia y durabilidad de este material, son escasas. El objeto de este trabajo pretende realizar un análisis bibliométrico de los artículos científicos elaborados en la base de datos ScienceDirect; en el periodo comprendido entre el año 2015- 2021; Para tener elementos que permitan definir materiales no convencionales (residuos de bio-masa) que aporten una mejora en los parámetros de resistencia y durabilidad y del mismo modo permitan vislumbrar un horizonte en el cual se puedan aprovechar todos los recursos provenientes de desechos de la industria y de esta forma disminuir las fuentes de emisión de contaminantes en los procesos constructivos sin afectar la calidad y sin que ello repercuta en los indicadores económicos.

#### 4 ANTECEDENTES

- **Título: El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado** (Otalora, 2008).

*Autor(es):* Tatiana Alexandra Escorcía Otalora

*Resumen:* El análisis bibliométrico es una gran herramienta en el procesamiento de datos y seguimiento de publicaciones científicas de todo tipo, permitiendo analizar datos y una gran cantidad de información de carácter académico y de la ciencia.

*Tipo de fuente:* Trabajo de grado

- **Título: Recycling of biomass and coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete** (Teixeira, A. Camoes, F.G Branco, J.B Aguilar, & R.Fangueiro, 2020).

*Autor(es):* E.R.Teixeira- A.Camoes-F.G Branco –J.B Aguilar- R.Fangueiro

*Resumen:* La industria concretera y de construcción ha optado por introducir cenizas volantes en el concreto para obtener resistencia, además de esto se adicionan partículas de biomasa las cuales tienen un efecto positivo, pero con motivo de estudio se debe analizar las cantidades a agregar ya que pueden generar carbonatación.

*Tipo de fuente:* Artículo científico

- **Título: Experimental investigation on optimization of micronized biomass silica for the strength characteristics of recycled aggregate concrete** (Sutradhar & V.B Reddy Suda, 2020).

*Autor(es):* Rumpa Sutradhar, V.B. Reddy Suda

*Resumen:* Anualmente se generan grandes cantidades de desperdicios en la industria de la construcción, la producción de cemento libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, uno de los gases más nocivos. Por tanto, es necesario estudiar el uso de la biomasa silica para fortalecer las características como un agregado al concreto.

*Tipo de fuente:* Artículo científico

- **Título:** **Tratamiento de datos con R, Statistica y SPSS** (Castor, Vaamonde Liste Antonio, & Barreiro Felpeto, Aldo, 2011).

*Autor(es):* Guisande González, Cástor

*Resumen:* Uso y tratamiento de datos con diferentes herramientas que permite un correcto y eficaz manejo de una gran cantidad de datos. Por medio de la estadística se pueden obtener conclusiones acertadas a partir de datos, permitiendo que cualquier investigador sin importar su área de conocimiento utilice técnicas estadísticas para analizar y tratar sus datos, centrad en la aplicación,

*Tipo de fuente:* eBook

- **Título:** **Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia** (SAC, 2020).

*Autor(es):* EARTH Green SAC

*Resumen:* Se presenta una normatividad en la cual se dan y explican las especificaciones actuales para el manejo de residuos orgánicos en Colombia. Este documento plantea las leyes que regulan el aprovechamiento y uso de residuos sólidos orgánicos en Colombia.

*Tipo de fuente:* Artículo

## 5 MARCO TEORICO

### 5.1 Producción del cemento en Colombia

El procedimiento para la fabricación del cemento se puede resumir en tres etapas. La primera de ellas sería la extracción, y esta comienza con la selección de la cantera y los procedimientos legales para su explotación; seguida por la elección de la piedra caliza la cual debe pasar por un proceso de trituración hasta convertirlas en una fracción más pequeña, debido a que de la cantera se pueden extraer rocas calizas de hasta un metro de diámetro.

Después de este proceso, sigue la segunda etapa llamada comúnmente homogenización; este proceso realmente es la pre- homogenización de la caliza ya molida con otros elementos como arcilla, sílice, albumina, hierro entre otros, obteniendo una mezcla homogénea llamada crudo.

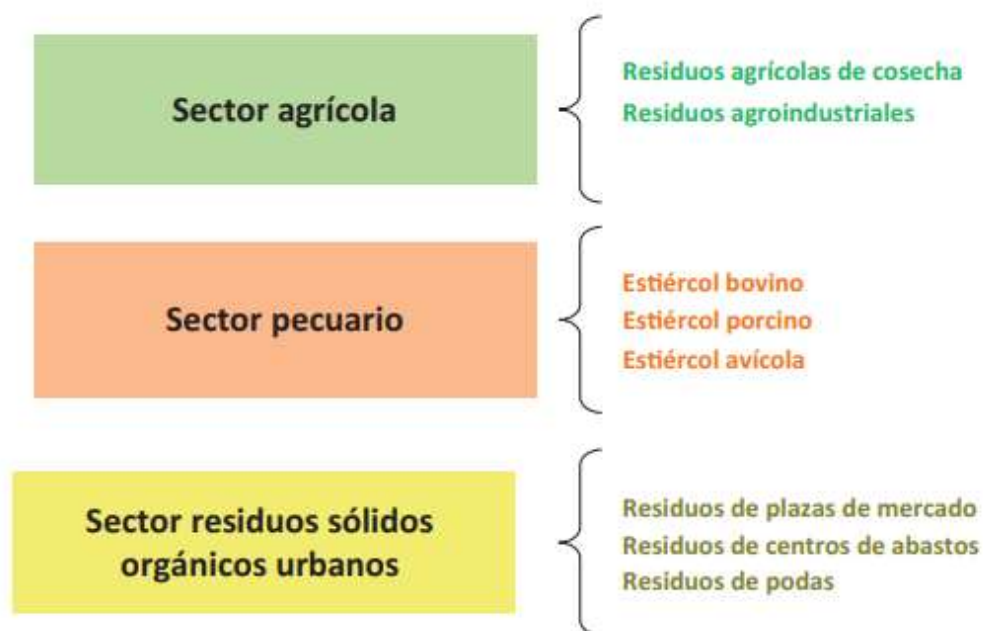
Seguido de ese proceso, el crudo, que se compone de varios elementos, se procesa a temperaturas por el orden de los 1500 grados centígrados para garantizar la transformación de los minerales sintéticos como silicatos, aluminatos y ferritos de calcio, que le darán las propiedades mecánicas al cemento y convirtiendo el crudo en Clinker.

El Clinker luego pasa por un molino con revestimientos donde es reducido a un polvo fino y se mezcla con yeso y demás aditivos para modificar los tiempos del fraguado.

## **5.2 Bio-masa**

La biomasa es la fracción de material orgánico que viene de las plantas y animales, que a su vez se puede considerar como la materia orgánica que se genera en cada uno de los procesos biológicos existentes, ya sea de manera natural o provocada. Esta materia orgánica alberga gran potencial ya que se puede usar como una fuente de energía la cual es sustentable y a su vez renovable, ya que siempre habrá y se seguirán produciendo desechos orgánicos de los procesos tanto industriales como naturales. Esta biomasa se clasifica en dos tipos los cuales dependen de su procedencia, por un lado, la que se genera en los ecosistemas naturalmente sin intervención del hombre. Como residuos de bosques, árboles o plantaciones agrícolas que tienen alto poder energético. O la que se produce a partir de procesos industriales en los cuales el ser humano entra directamente a ser parte, como lo son las industrias agrícolas y ganadería, industria maderera o agroalimentaria. Estos desechos industriales presentan un problema al no ser tratados, pero pueden ser utilizados para crear combustibles que son una opción sustentable ambientalmente (APPA, 2020).

En Colombia, se tienen mapas y esquemas que mejoran el acceso a la información sobre los usos de la biomasa como fuente no convencional y sus posibles escenarios de aprovechamiento. Estos esquemas o mapas se denominan atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia y comprenden los sectores agrícolas, pecuario y residuos orgánicos provenientes del sector urbano (Sistema de información ambiental minero energético, 2020).



Fuente: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>.

Figura 2. Clasificación de residuos Colombia

### 5.2.1 Tipos de Bio-masa obtenidas de la bibliometría (Matriz)

El análisis bibliométrico comprende una revisión de la literatura en donde los siguientes materiales provenientes de la biomasa vegetal residual son utilizados. A continuación, se da una descripción general de cada residuo.

#### 5.2.1.1 Ceniza de desechos de madera (WWA)

Este tipo de ceniza es generada por la combustión de los diferentes tipos de madera para producir calor y energía. La madera es una de las materias primas vegetales más utilizadas en los hornos de biomasa porque producen menos materiales residuales en comparación con otros desechos agrícolas. Generalmente las cenizas de madera se optimizan en un 70% como residuo de vertedero, 20% con fines agrícolas (para mejorar la alcalinidad del sustrato) y un 10% se utiliza para otros fines dentro de los cuales la construcción y materiales es uno de ellos (González-Kunz, 2017).

Según la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, se estima que en el sector forestal de la subregión amazónica la producción de tableros de

madera en 2020 podría alcanzar 36.9 millones de m<sup>3</sup> en 2020, la mayoría de latifoliadas (tropicales y exóticas) con participación de pino y eucalipto. De igual manera, la pasta de papel en 2020 debería tener incrementos por el orden 20.9 millones y 21.3 millones de toneladas (Jefferson Garcia FAO).



*Fuente:* <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/171796/Tecnologias-de-mejoramiento-de-la-ceniza-volante-con-altos-contenidos-de-carbon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

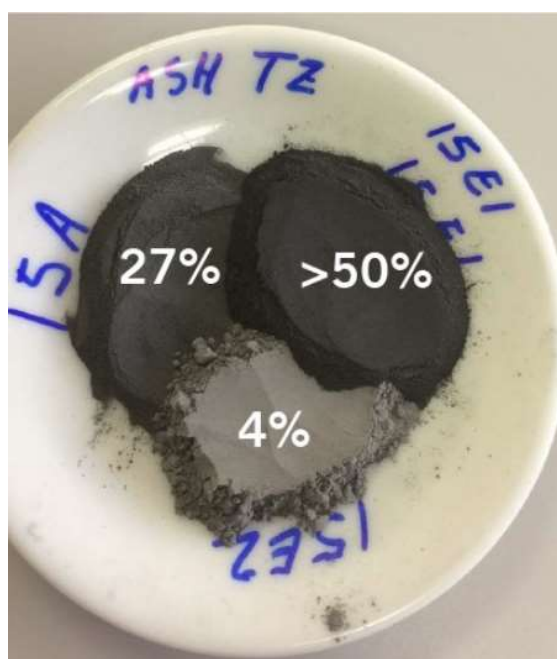
*Figura 3. Cenizas de desechos de madera (WWA).*

### **5.2.1.2 Cenizas volantes de carbón (CFA)**

Cuando se lleva a cabo la combustión del carbón queda un residuo que se conoce como cenizas volantes que es pulverizado en plantas generadoras de eléctricas. Esta ceniza volante es considerada como un desecho con potencial de mejoramiento a las propiedades al ser adicionada al concreto. En la fabricación de cementos, estas constituyen un tipo de adición activa. Se obtiene mediante la precipitación de electrostática de gases de combustión que emanan de las centrales que utilizan el carbón como fuente energética. Es una puzolana común debido a que, al adicionarse a la pasta de concreto, se produce una disminución de costes y mejora algunas de sus propiedades en cuestiones de impermeabilidad trabajabilidad, durabilidad, densidad, resistencia en general.

Las dimensiones de partículas analizadas de forma individual de cenizas volantes de carbón tienen un tamaño entre 1  $\mu\text{m}$  y más de 1mm. La mayoría de partículas de cenizas volantes idóneas como agente puzolánico para su uso en concretos pasan el tamiz N° 325 (45  $\mu\text{m}$ ) con una humedad menor a 1%. La variabilidad en su composición química es notoria, sin embargo, en su mayoría se hacen presentes las sílices ( $\text{SiO}_2$ ) y en menor proporción los óxidos de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), férricos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y de calcio ( $\text{CaO}$ ) (Samuel Huaquisto Cáceres, 2018).

Para determinar la reactividad de las cenizas, las recomendaciones estipuladas en las normas NTC 3493 y ASTM C618 indican que se hace necesario la estimación del índice de actividad que se establece mediante ensayos de resistencia a compresión de tipo comparativo sobre un mortero normalizado de referencia con 100% cemento y uno con adición del 20% de ceniza. Los valores para este índice se consideran aceptables si la resistencia del mortero con ceniza es mayor o igual al 75% del mortero de referencia en el rango de 7 y 28 días (3493, 2019).



Fuente: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/importancia-de-las-cenizas-volantes-en-la-produccion-de-concreto>

Figura 4. Cenizas volantes de carbón. Porcentajes de carbón quemado

### 5.2.1.3 Cenizas volantes de biomasa de olivo (OBFA)

El OBFA se obtiene de la combustión en plantas de cogeneración de orujos y huesos de aceituna. Según el consejo Oleícola Internacional (COI) para el año 2021 se prevé una producción de aceite de oliva de alrededor de 3.197.000 Ton; siendo la unión europea (UE) los mayores productores con una producción total de 2.232.500 Ton (Consejo Oleícola Internacional, 2015).

Para producir 1 litro de aceite, se necesita un aproximado de 7-8 Kg de aceitunas, (COOSUR, 2019) este año se estima un consumo en el mercado colombiano alrededor de 5.000 toneladas, cifra mayor a la de hace 5 años cuando la cifra estaba por el orden de las 2.000 toneladas (Nielsen, Euromonitor Internacional, 2018).

Además, los cultivos de olivo presentan una alta cantidad de residuos de poda, en España se generan 4.2 millones de toneladas anuales de residuos de poda (A. García-Maraver, 2012). También la mayoría de las instalaciones de plantas generadoras de energía eléctrica utilizan residuos de olivo como combustible ((AAE), 2008)



Fuente: <https://www.upv.es/noticias-upv/noticia-9512-excelentes-pres-es.html>

Figura 5. Ceniza de huesos de oliva y escoria de altos hornos

#### 5.2.1.4 Cenizas de pulpa de papel (PWBFA)

La industria del papel y fábricas de pulpa generan grandes cantidades de residuos en su mayoría materia orgánica la cual se puede convertir en energía renovable en forma de metano. Este proceso de combustión genera otro residuo el cual es la ceniza de la pulpa de papel luego de su proceso de combustión, las cuales tienen beneficios al agregarlas al hormigón, reemplazando un porcentaje de cemento. (P.M. Gopal, 2018)

La reutilización de estos residuos de fábrica de papel reciclado se ha venido implementando en la construcción hasta la construcción de ladrillos ligeros que absorben energía contribuyendo así a el manejo de desechos sólidos y generación de nuevos ingresos. (S.P. Raut, 2012)



Fuente:<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2017.1405768>

*Figura 6. Cenizas de residuo de pulpa de papel*

#### **5.2.1.5 Ceniza de combustible de aceite de palma (POFA)**

El POFA o ceniza de combustible de aceite de palma es un subproducto o residuo que se genera en las centrales eléctricas de biomasa, donde se realiza el proceso de quemado de residuos de aceite de palma para generar electricidad. Tales residuos como fibras, cascaras y racimos de frutas vacíos. (. Tangchirapat, 2007). Según la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite, este cultivo ha tenido una gran expansión en Colombia y ha mantenido un crecimiento sostenido. Existiendo más de 500.000 hectáreas de cultivo de palma de aceite en 122 municipios del país. (Mario Evelio Arias Zabala, 2010)

Después de la combustión de estos residuos se obtiene aproximadamente un 5% en peso de residuo de aceite de palma. Este residuo se puede utilizar como puzolana en el concreto provocando resistencias a compresión del hormigón a 90 días mayores que las que usan un 100% de cemento. Además de esto el POFA aumenta la resistencia del concreto a la penetración de iones cloruro, (. Tangchirapat, 2007) o cual es un factor de gran importancia en ambientes donde predominan estos iones y condiciones a las que se ve sometida el concreto como lo son las ciudades costeras, ya que así las estructuras no estén en contacto con el agua de mar, las corrientes de aire arrastran estas partículas que poco a poco van degradando el concreto y generando efectos no deseados.



Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Palm-Oil-Fuel-Ash-POFA\\_fig1\\_330280976](https://www.researchgate.net/figure/Palm-Oil-Fuel-Ash-POFA_fig1_330280976)

*Figura 7. Cenizas de combustible de aceite de palma*

#### **5.2.1.6 Cenizas de fondo (No leñosa)**

Las cenizas de fondo no leñosas son el residuo procedente de la combustión de materiales como la paja, el centeno, la avena, el maíz entre otros, en el proceso de generación de energía en las plantas productoras con biomasa. Estos son materiales los cuales no cuentan con una estructura leñosa como la madera. Estos materiales después de su cultivo generan residuos los cuales son usados con fines alimenticios para animales o para su quemado y generación de energía como la paja de caña de azúcar, la hoja de maíz y la cascarilla de centeno y cascara de avena. (Apaza Lazo, 2019)

En el caso de la caña de azúcar, después de realizar el proceso de cosecha, se genera un residuo llamado paja de caña de azúcar. Este residuo tiene buen poder calorífico y puede utilizarse para la generación de energía. Luego de este proceso de generar energía, se genera otro residuo, el cual es la ceniza de la paja de la caña de azúcar. Este residuo tiene gran valorización como material puzolánico ya que presenta cantidad de sílice amorfa que se puede usar como puzolana de manera que sustituye parcialmente el cemento Portland. (J. C. B. Moraesa, 2017)

En Colombia la producción más grande de caña de se centra en el Valle del Cauca donde están los más importantes ingenios azucareros del país. aproximadamente 8% de los cultivos continuos de Colombia corresponden a la caña de azúcar, ocupando más de 197.000 hectáreas (ASOCAÑA, Producción de caña Finagro).

En 2020 se produjeron 24.3 millones de toneladas de caña y 1.615 GWh de energía generada (41 % de esta dirigida al sistema de interconexión eléctrico nacional SIN) a partir del bagazo de caña. La producción de caña de azúcar es el cuarto generador

agroindustrial de divisas después del café, flores, banano y aceite de palma. (ASOCAÑA, Sector Agroindustrial De La Caña, 2017)



Fuente: <https://www.residuosprofesional.com/hormigon-residuos-cana-azucar/>

Figura 8. Ceniza de fondo residuos no leñosos (Paja de caña de azúcar)

#### 5.2.1.7 Corcho pirolizado

El proceso de pirolización del corcho consiste en la descomposición de este por calentamiento hasta una temperatura de 450 °C sin acceso de aire donde se generan productos sólidos, líquidos y gaseosos. Se degrada el corcho en ausencia de oxígeno permitiendo que se descompongan estas sustancias mediante calor sin que haya reacción de combustión. (POWER, 2018)

El corcho es un material cuya cuenta es la corteza de un árbol llamado alcornoque. Principalmente se usa para la fabricación de tapones para la industria del licor, y el sobrante de este se aprovecha en el sector de la construcción, donde se obtienen productos como aislantes, aglomerados y revestimientos. El corcho para techos y muros se coloca como revestimiento en losetas dando una función aislante térmico y acústico. Este es un producto 100% natural y 100% reciclable ya que este no se pudre y es de gran resistencia, por esto se puede transformar cuando cumple el final de su primer uso en una nueva materia prima para usarlo posteriormente en otros propósitos. Además de esto es impermeable y transpirable de esta manera aísla y permite a su vez que haya transpiración entre las dos superficies que se aislaron. (Sostenible, 2019)

El mayor productor de corcho es Portugal, produciendo al año un aproximado de 100.000 toneladas que se utiliza para todo tipo de productos desde un reemplazo al cuero hasta su uso como agregado para pavimentos. De Portugal procede el 63% de la producción mundial de corcho lo cual equivale a unos 986.3 millones de euros. El corcho se usa

numerablemente en la construcción específicamente en tuberías de calefacción o de sistemas de ventilación y aires acondicionados, en juntas de dilatación y cámaras de frío. (Peláez, 2020)



Fuente: <https://corcho24.com/2020/06/16/granulado-de-corcho/>

*Figura 9. Corcho granulado*

### **5.3 Adición de bio-masa al concreto**

El compuesto bio-masa cemento usualmente es fabricado clásicamente de dos formas: moldeo (vertiendo en moldes) y compactación (combinada o no con la extrusión). El éxito de estos métodos de fabricación está relacionado con las características intrínsecas del material vegetal en cuanto a variables como la gradación, forma de las partículas y de las proporciones entre los demás materiales que intervienen en la composición, en especial la relación agua y demás materiales secos.

El material vegetal puede ser adicionado a la pasta de cemento una vez mezclados correctamente hasta lograr homogeneidad. El vertido de la mezcla en la formaleta se debe hacer rápido para evitar pérdidas de humedad por intercambios con el medio ambiente que puedan ocasionar secado prematuro. El desencofrado generalmente toma más tiempo del que sería necesario en la fabricación de productos de cemento convencionales. Se ha observado que la utilización de diferentes tipos de especies de origen vegetal, cementos con características especiales o aditivos específicos favorecen la pérdida de humedad del elemento. El curado del compuesto de Bio-masa cemento sugiere diferencias marcadas en comparación con el uso de cementos convencionales. La principal consiste en una marcada pérdida de humedad, pero luego el elemento tiende a estabilizarse pues el material vegetal libera parte del agua para el cemento. Aparentemente el compuesto de Bio-masa cemento muestra cierta sensibilidad a la falta

de humedad en comparación con un exceso de esta. Sin embargo, valores elevados de agua en relación a los materiales secos pueden provocar la segregación de la mezcla, hecho que se ve acentuado cuando en el molde no hay estanqueidad. En contra parte, reducir la cantidad de agua dificulta la compactación y favorece la presencia de irregularidades en la homogeneidad. (L., Nancy 1, France, 222p., 1994)

#### **5.4 Materiales cementicios suplementarios (MCS- SCMs)**

El cemento Portland al tratarse de una mezcla de muchos compuestos, es considerado un compuesto químico complejo. Los compuestos principales que conforman más del 90% del peso de este son: el silicato tricalcico, el silicato di cálcico, el aluminato tricalcico y el aluminio ferrito tetra cálcico.

Además de estos cuatro componentes existen otros que cumplen roles fundamentales en el proceso de hidratación de este mismo. El cemento portland contiene los cuatro componentes ya mencionados, pero difieren sus proporciones. Existen dos tipos de silicatos de calcio en el cemento portland que conforman aproximadamente el 75% en peso de este y son reactivos en presencia del agua para generar hidróxido de calcio e hidrato de silicato de calcio el cual representa el agente cementante más importante en el concreto, pues procesos como el fraguado, curado, resistencia y compacidad de forma dependen en gran medida del hidrato de silicato de calcio.

La composición química del hidrato de silicato de calcio contiene cal y sílice. Cuando la pasta de cemento presenta endurecimiento, las partículas se enlazan con otras fases cristalinas y el material gradado sobrante de cemento que no ha presentado hidratación, Adhiriéndose a las partículas de arena y agregado grueso permitiendo que se cimente todo como un conjunto. Esta estructura se forma debido a la reacción cementante de la pasta y responde a las propiedades de fraguado, endurecimiento e incrementos de resistencia.

Después fraguar, conserva el volumen bruto sin variaciones, pero este concreto endurecido cuenta con poros llenos de agua y aire los cuales no tienen resistencia. La resistencia del concreto se encuentra en la fase solida del elemento, en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas. (HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO)

Los materiales cementicios suplementarios y la inclusión de residuos de bio-masa entran a jugar un papel importante aquí ya que estos materiales pueden mejorar la manejabilidad y reducción de poros de agua y aire.

Los materiales cementicios suplementarios son materiales aglutinantes que tiene una reacción tardíamente con los productos de la hidratación del cemento, específicamente con la portlandita. (Snellings, 2012)

<b>Adición</b>	<b>Carácter</b>	<b>Reactividad</b>
Escoria granulada de horno de fundición (GBFS)	Artificial	Hidráulica
Ceniza volante (FA)	Artificial	Puzolánica
Humo de sílice (SF)		
Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)		
Metacaolín (MK)		
Cenizas volcánicas	Natural	
Pumice volcánico		
Filler	Artificial	No activa

Fuente: [http://www.uptc.edu.co/docentes/oscar\\_gutierrez/En\\_Concreto/Materia5](http://www.uptc.edu.co/docentes/oscar_gutierrez/En_Concreto/Materia5)

*Tabla 1. Principales adiciones del cemento*

Las adiciones activas presentan las condiciones para su reacción con el hidratante: agua, y el enlace carbono - hidrogeno del cemento portland hidratado en condiciones de temperatura ambiente o cuando reacciona directamente con el agua (adición hidráulica), para generar un producto cohesivo y estable. Esta facilidad de reacción se presenta en los compuestos que contienen sílice amorfa, lo cual hace posible el reemplazo de parte del cemento portland, o del Clinker con adiciones activas que permiten que se mantengan buenos desempeños del material cementante, de allí su nombre material cementante suplementario (SCMs).

Entre los diferentes materiales que se pueden encontrar, el objetivo general de su uso es el ahorro de energía y la disminución de carbón. Por ejemplo, la piedra caliza en polvo, además de ser ambientalmente viable, llega a mejorar la resistencia y la manejabilidad del concreto ya que tiene un efecto llenante, acelerando la hidratación del silicato tricálcico. (MAKHLOUFI)

La reactividad de esta adición está directamente vinculada con su composición química, naturaleza vítrea y finura. Entre mayor sea la fase amorfa, mayor será la reactividad de la adición. Cuanto más fina sea la adición, su reactividad será mayor. Llegando a un límite en que este adicional será insignificante dependiendo del material.

#### **5.4.1 Propiedades físico-químicas**

La composición química y la reacción entre el cemento y las cenizas de biomasa, arrojan propiedades específicas que están relacionadas con el comportamiento mecánico. Debido a que en este trabajo se realiza una revisión de la literatura sobre la inclusión de biomasa y su viabilidad de uso como componente del concreto, mortero, lechada, etc. El análisis de la interacción fisicoquímica es fundamental. Las propiedades relacionadas

con los componentes químicos (tipo de residuos, arena, agua, aditivos, etc.), relaciones (agua/cemento, biomasa /cemento, etc.) y el tamaño de la partícula. (OSPINA & BRAVO, ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CENIZA DE BIOMASA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE, 2020)

#### 5.4.1.1 Potencial y actividad puzolánica

La cuantificación de la capacidad de materiales silíceos o aluminosilicatos a reaccionar con el hidróxido de calcio y agua esta entendida como actividad puzolánica. Esta capacidad de reaccionar y formar materiales cementantes está directamente relacionada con la composición química. Según ASTM C618, la actividad puzolánica se da cuando el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), el óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) forman una composición en proporciones  $\geq 70\%$  (ASTM International, 2018). Por otra parte, es conveniente resaltar que la relación (CaO/SiO<sub>2</sub>) debe ser mayor a 1 para mantener el índice de basicidad en el material; la capacidad de los materiales puzolánicos mejora la resistencia de los sistemas cementosos, afectando la morfología del material (tamaño, forma, textura) (P. Nkinamubanzi, 1998). Es importante anotar que la actividad puzolánica también depende de la cristalización de la sílice, la superficie y la gradación de las partículas de ceniza (M. Zain, 2011).

Debido a que la plantas obtienen varios minerales y silicatos de la tierra durante el proceso de crecimiento el contenido de SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO<sub>3</sub> en su mayoría es superior al 70% en los residuos analizados; especialmente en plantas que son cultivadas anualmente se encuentra una alta concentración de silicatos y es por eso que la biomasa es considerada como una fuente importante de material de reemplazo de cemento con actividad puzolánica. (KH Mo, 2016)

#### 5.4.1.2 Afinidad química entre el cemento y la bio-masa.

Existen dos formas para efectuar la evaluación de un compuesto de cemento con presencia de biomasa vegetal. Las opciones van desde realizar un análisis del comportamiento mecánico del elemento constituido por el compuesto o a partir de la curva de hidratación establecer los parámetros y luego proceder a su cuantificación.

- **Curva de hidratación** el nivel de afinidad entre los constituyentes se puede verificar al comparar los valores obtenidos en los compuestos con adiciones de biomasa con los datos obtenidos en una pasta de cemento convencional. Los parámetros relevantes serían la temperatura máxima relacionada al calor de hidratación alcanzada por la mezcla, el tiempo que toma para que esto ocurra y eventualmente la pendiente de la curva pues es esta la que determina la

solidificación o grado de fusión del material. Este proceso en algunos casos es tedioso debido a que según el tipo de Bio masa vegetal que se esté trabajando, además, después de un periodo de tiempo extenso es cuando se puede evidenciar los valores máximos de temperatura. También se pueden presentar reacciones endotérmicas en donde la temperatura no aumenta.

- La información obtenida de las curvas de hidratación tiene alta sensibilidad pues esta depende de muchos factores que modifican las características de la curva, como la proporción entre cemento y biomasa, las propiedades intrínsecas de la biomasa, gradación y distribución de partículas, calidad del agua, etc. (ARGOS & SILVA).
- **Estimación de la afinidad entre biomasa vegetal y cemento por medio de ensayos destructivas y no destructivas (A, 1987)**

- **Ensayo mecánico**

Los parámetros de la curva de hidratación cuyas variables principales (temperatura máxima y tiempo para su ocurrencia) no presentan incidencia aparente sobre la información arrojados en pruebas destructivas de flexión estática y compresión diametral. De acuerdo con los investigadores Moslemi y Pfister, existen factores como la forma de fractura de partículas, inherentes a la biomasa que afectan la adherencia entre la biomasa y el material cementante (C, 1989).

- **Ensayo no destructivo (ultrasonido)**

Como toda onda, el sonido necesita de un medio para propagarse a partir de vibraciones. La velocidad depende de las propiedades elásticas del compuesto que se esté analizando, de esta forma, estableciendo la velocidad del sonido y la masa del compuesto, se pueden establecer las propiedades elásticas del medio, las cuales son parámetros de la calidad del material.

En los estadios iniciales de la pasta de cemento, no se han conformado los productos derivados de la hidratación del cemento y aunque es posible monitorear el comportamiento de la velocidad del ultrasonido en un compuesto de biomasa, pero esta se debe hacer durante los primeros 7 días pues es en este tiempo donde el compuesto tiene tendencia a la estabilización y es en este tiempo en donde se presentan las mayores variaciones en magnitud de la velocidad (MILLER D. P., 1991).

## 5.4.2 Propiedades físico-mecánicas

Anteriormente se mencionó como la composición química y su contenido de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$  determinaba la actividad puzolánica. La combinación de materiales con altas concentraciones de estos compuestos como lo pueden ser las cenizas, con una solución alcalina y silicatos (solubles) proporcionan las condiciones ideales para que el compuesto forme características aglutinantes fuertes. Altas cantidades de  $\text{SiO}_2$  reactivo y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan como resultado una mayor geo polimerización y, por lo tanto, mayor resistencia mecánica. (H. Wang, 2005)

Uno de los factores claves del potencial de reactividad es la gradación de la partícula y la distribución granulométrica de las partículas de ceniza. Estos factores inciden directamente en el parámetro de la resistencia a la compresión.

La incorporación de cenizas de biomasa vegetal en el mortero de cemento puede aumentar o disminuir la resistencia a la compresión según la proporción de la mezcla.

### 5.4.2.1 Resistencia a la compresión

Se ha analizado que los valores máximos de resistencia a compresión simple del concreto se alcanzan con un contenido de ceniza del 5%. Y que contenidos mayores al 10% producen una caída en la resistencia del concreto, reduciendo esta inclusive por debajo del permitido. Igualmente se ha analizado que la porosidad total del concreto respecto al contenido de ceniza volante es inversamente proporcional. La porosidad se reduce a medida que aumenta el contenido de cenizas volantes de biomasa. En múltiples estudios se evidencia la viabilidad del uso de las cenizas en mezclas cementosas como material cementante adicional. (Samuel Huaquisto Cáceres<sup>1</sup>, 2018)

En múltiples estudios se evidencia la viabilidad del uso de las cenizas en mezclas cementosas como material cementante adicional. Debido a la finura y granulometría de la ceniza, estas partículas se acomodan de una mejor manera y muestran una mayor reactividad. (Heber Martins de Paula, 2021)

La ceniza volante es un tipo de adición que permite bajas relaciones agua/cemento, lo cual reduce la retracción por secado y la resistencia a la abrasión en concretos fluidos. Además de mejorar las características mecánicas y durabilidad del concreto ya que aumenta su resistencia frente a sulfatos. (Samuel Huaquisto Cáceres<sup>1</sup>, 2018)

Entre los numerables beneficios de las cenizas volantes en reemplazo del cemento, se encuentra que no hay afectación en el tiempo de fraguado de la mezcla en proporciones menores al 10%. Y en porcentajes de 15% aumenta este tiempo, lo cual puede resultar beneficioso en entornos de clima cálido ya que la mezcla mantiene su plasticidad por

periodos de tiempo mayores, permitiendo de esta manera un mejor transporte colocación y vibrado de este realizándose en tiempos mayores.

Al adicionar ceniza en pequeñas cantidades al cemento Portland, este incrementa su resistencia de diseño, debido a las características propias de la ceniza y la disminución de la relación agua /cemento por parte de la absorción del material. (Amigo Olave & Palomino Cerrada, 2009)

#### **5.4.2.2 Resistencia a la flexión**

La resistencia a flexión es una propiedad mecánica del concreto muy importante que mide la resistencia a la tracción de este, la cual se ve afectada por las cenizas de biomasa de manera positiva, disminuyendo el volumen de poros debido a que la ceniza tiene una densidad menor a la arena y el cemento Portland, se logran llenar vacíos que normalmente quedan en el concreto que no contiene cenizas volantes de biomasa, debido a esto se produce un concreto más denso con una superficie lisa y detalles afilados. Se mejora sus propiedades hidráulicas y reduce la probabilidad de aparición de grietas, los cuales afectan en gran medida cuando un elemento se ve expuesto a una fuerza de flexión (OSPINA & BRAVO, ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CENIZA DE BIOMASA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE, 2020).

### **5.5 Durabilidad**

La resistencia a la penetración de iones de cloruro, la resistencia al sulfato y la carbonatación son los factores más comunes para evaluar este parámetro. Sin embargo, la durabilidad es un factor que tiene diversas formas de evaluación y algunas dependen de factores geográficos dadas sus condiciones ambientales.

Según el comité de la ACI 201 (American concrete institute), la durabilidad de un elemento de concreto está en función de su capacidad para mantener su forma, calidad y propiedades a lo largo del tiempo de servicio o vida útil estimada en las condiciones de servicio para el cual fue diseñado, esto quiere decir que debe soportar ataques químicos, abrasión y cualquier otro proceso de deterioro (ACI, 2000).

### **5.5.1 Resistencia a la penetración de Iones de Cloruro**

La resistencia a la penetración de cloruros es un parámetro de vital importancia si se desea controlar o minimizar la corrosión. La incorporación de puzolana mejora la resistencia a la penetración de cloruros debido a la reducción de la permeabilidad y transporte de los iones de cloruro. (P. Chindaprasirt, 2008)

La NSR-10 en el capítulo C.4 “requisitos de durabilidad” especifica algunos criterios que deben cumplir los diseños de mezclas. La NTC 5551 “durabilidad de estructuras de concreto” así como la ASTM C39, describen la preparación de muestras con el fin de predecir la vida útil en entornos con altas concentraciones de cloruro (zonas marinas, plantas de tratamiento, piscinas, etc.) la finalidad de estas pruebas es conocer el caudal de iones de cloruro a través de la muestra; para ello se mide mediante el coeficiente de difusión de cloruros (prueba de migración) o cuantificando el flujo de la carga en coulomb (W. Wongkeo, 2014).

### **5.5.2 Resistencia a los Sulfatos**

El concreto generalmente está en constante exposición a sulfatos del suelo o en aguas freáticas y debido a reacciones físicas y químicas este podría perder propiedades mecánicas por degradación. El mecanismo de acción por exposición a los sulfatos se da cuando estos reaccionan químicamente con otros elementos constitutivos del mismo y forman un mineral expansivo nocivo que descompone el concreto. La resistencia a sulfatos puede mejorarse convirtiendo el hidróxido de calcio componente clave en la reacción de expansión, en silicato de calcio hidratado, componente más estable y resistente.

La expansión, pérdida de resistencia, detrimento de las propiedades elásticas del elemento, son el resultado de una serie de respuestas químicas del concreto expuesto a sulfatos que conllevan a la formación de etrigitas, yeso y descalcificación (Felipe Jaime Davila<sup>1\*</sup>, 2014).

### **5.5.3 Volumen de poros y durabilidad**

Se requiere un material permeable para que los agentes del medio ambiente puedan penetrar y afectar la durabilidad del concreto. Estos agentes fluyen al interior de la masa gracias a los gradientes internos de temperatura y humedad.

En el concreto convencional, en la pasta de cemento la permeabilidad está en función de la porosidad, sin embargo, es necesario que se presente interconexión entre poros.

En una pasta hidratada de cemento, el agua del mezclado influye en su permeabilidad debido a que esta determina el espacio vacío y puede ser usada para la reacción de hidratación del cemento o simplemente la evaporarse en el medio ambiente. (E., 2005)

Cuando la relación entre el agua y el cemento es elevada y el grado de hidratación es bajo, la pasta de cemento abarcará una gran cantidad de poros amplios y bien conectados, por lo tanto, su coeficiente de permeabilidad será alto. A medida que el compuesto se va hidratando, la mayoría de los poros se irán reduciendo hasta alcanzar un tamaño pequeño ( $\leq 100$  nm) y también desaparecerán sus interconexiones disminuyendo así la permeabilidad.

Fenómenos como la carbonatación son interacciones fisicoquímicas entre el fluido penetrante y los minerales de la pasta. Esto ocasiona micro grietas y/o ampliación o reducción del tamaño de poros y es precisamente por eso que determinar la estructura de transporte debido a los cambios impredecibles en la estructura del material cuando es penetrado por algún agente externo resulta tan complicado (MORENO, 2006).

#### **5.5.4 Profundidad de carbonatación y durabilidad**

La reacción que se lleva a cabo dentro de los poros del concreto entre el dióxido de carbono y la humedad tiene como resultado la transformación del hidróxido de calcio en carbonato de calcio, hecho que conlleva a una pérdida de pH. A este fenómeno de reacciones se le conoce como carbonatación.

El concreto se caracteriza por tener un ambiente alcalino (PH 12-13) que protege el refuerzo comúnmente de acero contra los procesos corrosivos. En medios alcalinos, la formación de un manto de óxido pasivo sobre la superficie del refuerzo tiende permanecer estable. La corrosión que produce grietas y fisuras en el concreto se da cuando el nivel de pH toma valores inferiores a 9, es ahí cuando deja de ser alcalino y el manto protector deja de ser estable. Esto se da cuando la carbonatación penetra el elemento hasta llegar al refuerzo.

La carbonatación tiene una relación directa con la permeabilidad, pues el concreto más permeable tendrá una tendencia a la carbonatación más rápida debido a que la carbonatación depende del contenido de humedad en el concreto. Una de las formas de disminuir la permeabilidad es controlar la relación A/C, el uso de puzolanas como cenizas volantes (Montani, 2000).



Fuente: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla>

Figura 10. Profundidad de carbonatación en una muestra de concreto

### 5.5.5 Resistividad eléctrica y durabilidad

Según la ley de Ohm la resistividad es una propiedad que da cuenta del volumen del material e indica su resistencia al paso de cargas eléctricas.

Teniendo en cuenta lo anterior, cuanto mayor es la resistividad menor será la porosidad del concreto su resistencia tendera a ser mayor pues hay más fase solida por volumen. la resistividad también es un indicador del grado de saturación pues si el hormigón no está saturado de agua, la resistividad crece es decir que la resistividad también podría ser útil para el control del grado de curado. (D'Andrea2, 2011)



Figura 2. Método directo



Figura 3. Método de las 4 puntas



Figura 4. Resistímetro portátil

Fuente: Revista ALCONPAT, Volumen 1, Número 2, mayo-agosto 2011, Páginas 93 – 101

Figura 11. Métodos de resistividad eléctrica

### 5.5.6 Transferencia térmica y durabilidad

Es una propiedad importante al momento de evaluar el desempeño térmico de alguna materia. Provee nociones sobre la velocidad de propagación de la energía en el proceso de difusión, el cual está en función de la estructura física, anatómica y a nivel molecular del material.

El flujo transversal de calor y el cambio de temperatura son consideraciones para cuantificar la conductividad térmica. Estos dependen también de la composición del elemento, la humedad, presión y estructura celular del compuesto. Es medida en  $W/(mK)$ . Se entiende que la transferencia de calor será menor si el valor de la conductividad también es menor, es decir, están directamente relacionados.

La disminución en el diámetro de poros puede estar asociado con un aumento de la conductividad térmica, pues si los poros tienen el tamaño adecuado, pueden permitir una transferencia por convección natural. Sin embargo, se debe tener en cuenta que a mayor tamaño de poros la probabilidad de que el elemento sufra efectos de contracción o dilatación por gradiente térmico inducido por el medio podrían aumentar disminuyendo así su durabilidad. (Claudia Patricia Sánchez Henao\*, 2006)

### 5.5.7 Lixiviación

La lixiviación se da cuando el agua penetra y disuelve algunos componentes en el concreto. El hidratado de cemento portland contiene entre 25%-30% de hidróxido de calcio que es soluble en agua.

Este proceso se manifiesta como una textura arenosa en las superficies expuestas del elemento. Si el agua logra filtrarse a través de grietas, fisuras o juntas de dilatación, la lixiviación puede erosionar el concreto desde adentro. Los elementos porosos son susceptibles a pérdidas de resistencia debido a que la lixiviación puede remover gran parte del hidróxido de calcio.

Controlar la lixiviación se puede lograr reduciendo la permeabilidad del elemento o convirtiendo el hidróxido de calcio en hidróxido de silicato de calcio insoluble. Para lograr esto se puede recurrir a la incorporación de materiales con propiedades puzolánicas como cenizas volantes para reducir la permeabilidad y lograr el silicato de calcio hidratado o humo de sílice. (DePuy, 1994)

### 5.5.8 Análisis por microondas

Con el análisis por microondas es posible determinar el grado de humedad del elemento relacionándolo con una constante dieléctrica mediante sistemas que emplean radiofrecuencias debido a que la constante dieléctrica es proporcional al contenido de humedad.

Es posible relacionar propiedades físicas del concreto (densidad, humedad, temperatura, etc.) debido a que están relacionadas con su permeabilidad. Las propiedades dieléctricas de los materiales son: permitividad eléctrica, permeabilidad y Conductividad. Las cuales varían de acuerdo con el comportamiento del campo electromagnético cuando están en un medio diferente al vacío.

En la actualidad se está empleando el análisis por microondas para determinar el blindaje del concreto frente a la radiación electromagnética debido a que la adición de ciertos materiales como el corcho pueden aumentar la capacidad de absorción de microondas. (C.Pullara, 2019)

### 5.5.9 Retracción

La retracción del concreto es un cambio de volumen del elemento que puede presentarse tanto en estado fresco o endurecido. Las características de retracción del concreto son un referente considerable para el control de la durabilidad de un elemento.

Existen varios tipos de retracción:

- **Retracción química:** Es provocada por las reacciones de hidratación del cemento.
- **Retracción plástica:** Está relacionada con una pérdida de agua superficial del concreto y se da por la tensión superficial que genera esfuerzos internos en el elemento.
- **Retracción por secado:** Está relacionada con una pérdida de agua de el gel. Esta retracción se puede medir por edades y puede comprender desde meses e incluso años.
- **Retracción Térmica:** La hidratación inicial del concreto da lugar a una reacción exotérmica presentando aumentos en volumen, una vez pasada esta fase y el elemento disipa energía y tiende a contraerse.

La retracción en general y la hidráulica es particular aumentan con la finura del cemento. La adición de ceniza aparentemente disminuye la retracción intrínseca; en cuantía depende de la naturaleza y proporción de la ceniza utilizada. (Ketty Lorena Carcamo Gil, 2013)

## 5.6 Bibliometría

La bibliometría es un instrumento eficaz para la estimación de actividad científica y académica. La bibliometría es la aplicación de métodos estadísticos y conocimientos matemáticos a toda fuente escrita que considere elementos y variables tales como autores, tipo de documento, título de publicación, idioma, resumen, palabras clave entre otros.

La bibliometría se basa en la estadística para el recuento de las publicaciones existentes científicas y el análisis de estas mismas. Permitiendo una revisión detallada de la literatura y una búsqueda de datos que recupera las publicaciones académicas y científicas, posibilitando el análisis de esta en gráficos de flujo, gráficos de dispersión, métodos estadísticos, tablas y medidas de tendencia. Favoreciendo con esto el procesamiento de datos, sintetizando y promoviendo una buena comprensión por parte de los lectores (López, Sara J. Castellanos Quintero, Maria Magdalena Lopez Rodrigues del Rey, & Juana I. Hernandez Fernandez, 2009).

Los indicadores bibliométricos son unos mecanismos para medir la producción científica que permiten evaluar el impacto causado por la producción científica a partir de la literatura. Los indicadores suponen una mejora en cuestiones de manejo y clasificación de grandes volúmenes de publicaciones.

Haciendo uso de indicadores bibliométricos, se pueden detallar una serie de cualidades entre las cuales están (Sancho, 1990):

- Desarrollo de cualquier campo de la ciencia según el cambio cronológico y del número de trabajos publicados en el periodo del cambio.
- Evolución cronológica de las disciplinas científicas según la vida media de las referencias de su publicación.
- Productividad de los autores e instituciones, medida por la cantidad de sus trabajos
- Dispersión de las publicaciones científicas entre las diversas bases de datos.

## 5.7 Tipos de indicadores Bibliométricos

Los indicadores se pueden dividir en dos grupos principales: input (instrumentos, recurso humano, recurso financiero, instalaciones) y output. Es en este último donde podemos identificar los siguientes (Sancho, 1990)

- Calidad: es un indicador basado en precepciones (per review).

- Cuantitativos: número y distribución de publicaciones, productividad de autores, colaboraciones. (producción)
- Conexiones entre autores y producción científica: frente de investigación y academia, Vida media y obsolescencia.
- Número de citas recibidas: Indica la visibilidad, uso, difusión o impacto.
- Impacto de fuentes: índice de inmediatez, influencia de las revistas.
- Asociaciones temáticas: análisis de citas comunes, referencias comunes y palabras comunes.

## 6 METODOLOGIA

### 6.1 Tipo de estudio

Para esta investigación se desarrollará un estudio descriptivo bibliométrico cuantitativo. (León-Camero, Camila Solórzano-Muñoz, & Guillermo E. Valencia) En este proceso se considerarán variables por medio de las cuales se analizará el material bibliográfico que se recuperará de la base de datos ScienceDirect buscando responder al objetivo de explorar la literatura relacionada con la adición de residuos de biomasa al concreto y la afectación en su resistencia y durabilidad.

### 6.2 Identificación y selección de los artículos.

Por medio de este análisis bibliométrico se pretende identificar los artículos más relevantes y de mayor calidad mediante una búsqueda exhaustiva de la base de datos. Para ello se pretende llevar a cabo la estrategia a continuación.

#### 6.2.1 Universo de estudio

Estará integrada por la totalidad de la de la literatura científica recuperada de la base Science Direct considerando las siguientes especificaciones:

- Ecuación de búsqueda:

*[concrete OR cement] AND ["biomass fly ash] AND [strength OR resistance] AND durability AND ["supplementary cementitious materials"]*

- Periodo de búsqueda: Literatura científica publicada entre 2015 y 2020
- Tipo de publicación: Construcción materiales de construcción

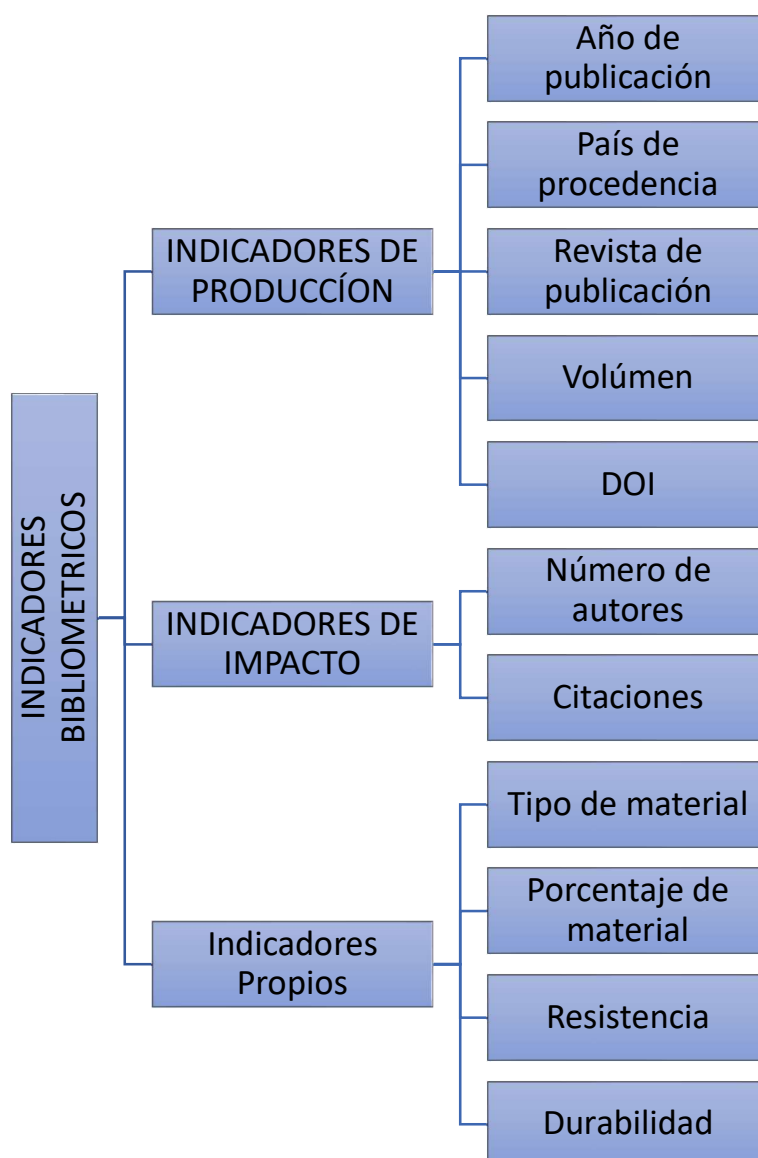
#### 6.2.2 Criterios de inclusión

Se incluirán los artículos que durante el proceso de revisión de la literatura revisada hagan alusión a la adición de residuos de biomasa al concreto y la afectación en su resistencia y durabilidad.

### 6.2.3 Criterios o variables

Por considerar en el proceso investigativo aluden a:

- **Año de publicación:** año en el que se publicó el material recuperado
- **Número de citaciones:** Cantidad de veces que se ha citado este artículo como referencia de otros.
- **País de procedencia:** País referido en la publicación como el lugar donde se ubica la institución en la que el autor trabaja
- **Revista de publicación:** Nombre de la revista
- **Volumen:** Hace referencia al soporte de donde proviene la información.
- **Número de autores:** Total de personas referidas en la publicación como autores del producto analizado
- **Tipo de material:** Residuo de biomasa adicionado.
- **Porcentaje de material:** Porcentaje total del residuo de biomasa adicionado.
- **Resistencia:** Resistencia obtenida por el concreto a los 28-90 días.
- **Durabilidad:** Parámetro de durabilidad medido para la muestra fallada.
- **DOI:** Link de soporte de la fuente de información analizada.



*Fuente: Creación propia*

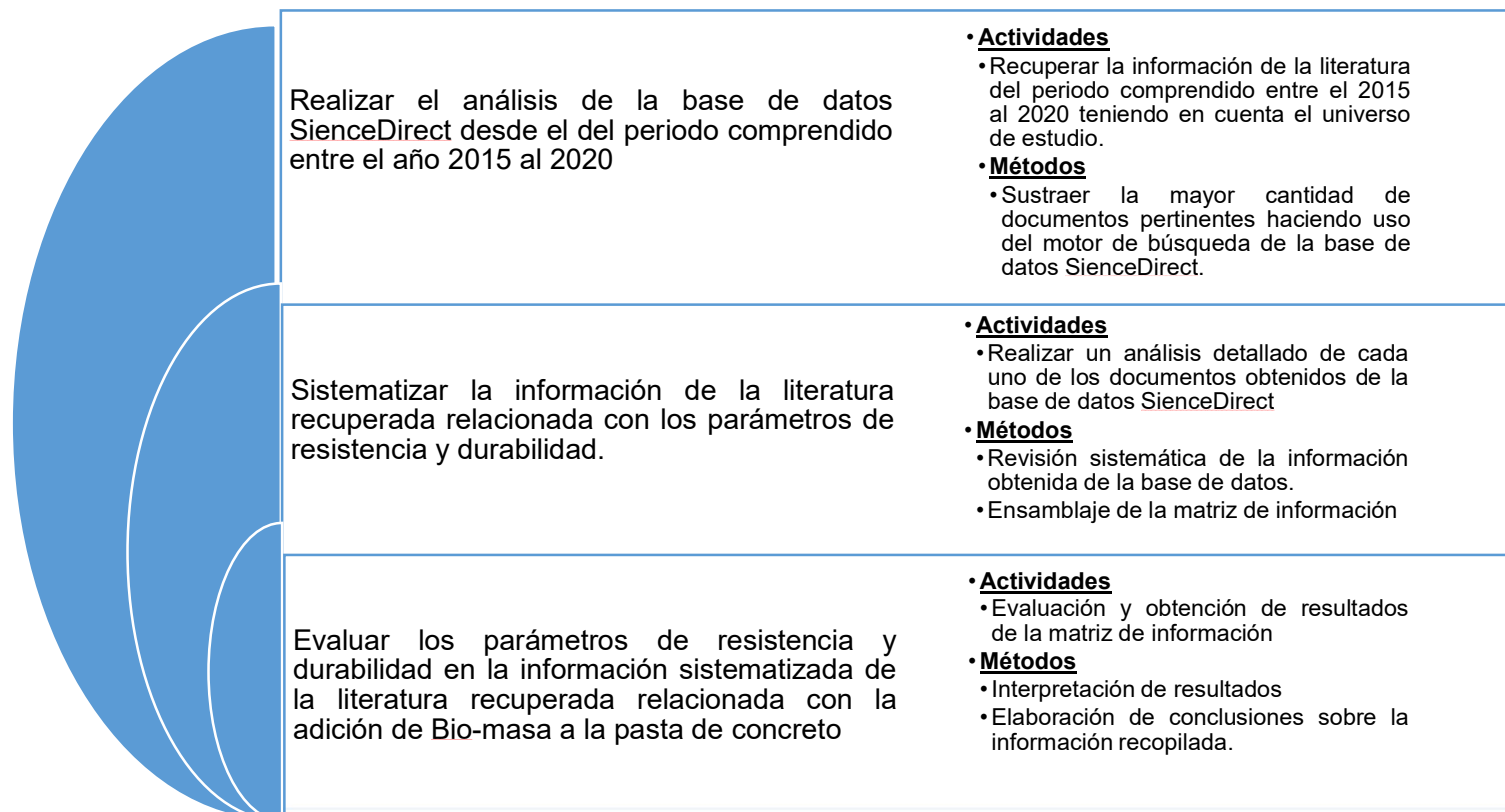
*Figura 12. Clasificación de indicadores bibliométricos*

Los campos determinantes del análisis bibliométrico, permiten conocer los datos relevantes de cada una de las publicaciones comprendidas entre el año 2015 y el 2020; Basados en el modelo del ISI (Information Science Institute) debido a que las bases de datos tratan información proveniente de diferentes disciplinas en donde se recopila la producción científica y cuentan con propiedades bibliométricas para su recuperación y análisis. La matriz generada en este análisis y bajo los parámetros del motor de búsqueda de la base de datos ScienceDirect tiene una magnitud de 107 artículos de producción científica; los

cuales se analizaron minuciosamente a profundidad con el fin de extraer la información objetivo y evaluar el potencial como alternativas eco-eficientes de los diferentes tipos de biomasa analizada y poder fomentar la investigación sobre el uso y desarrollo de materiales no convencionales. De estos 107 artículos el 29,9% del tamaño total de la muestra cumplía con los parámetros a evaluar en el análisis. En la *Tabla 1* se muestra un ejemplo de la información recuperada de uno de los artículos efectivos de la muestra.

### **1.3 Procedimientos:**

Para la realización de la búsqueda se accederá a la base Science Direct y mediante la opción “búsqueda avanzada” se introducirá la ecuación de búsqueda previamente definida, se procederá a recuperar la totalidad de publicaciones que emergieron en el proceso. A partir de los listados que emergen y de los resúmenes, se procederá a identificar la literatura pertinente relacionada con la temática y que permite responder al objetivo propuesto. Posteriormente se procederá a recuperar en texto completo en PDF. El proceso de recuperación y selección de la literatura se presentará en un gráfico de flujos que permita describir el proceso desarrollado. A partir de la esta literatura seleccionada y recuperada en PDF se procederá hacer la extracción de datos a una base diseñada en Excel, proceso que realizarán dos investigadores de manera independiente., se realizará la validación de la información extraída y se procederá a depurar la base, se hará el procesamiento de datos y se presentarán los resultados derivados.



*Fuente: Creación propia*

*Figura 13. Diagrama metodológico*

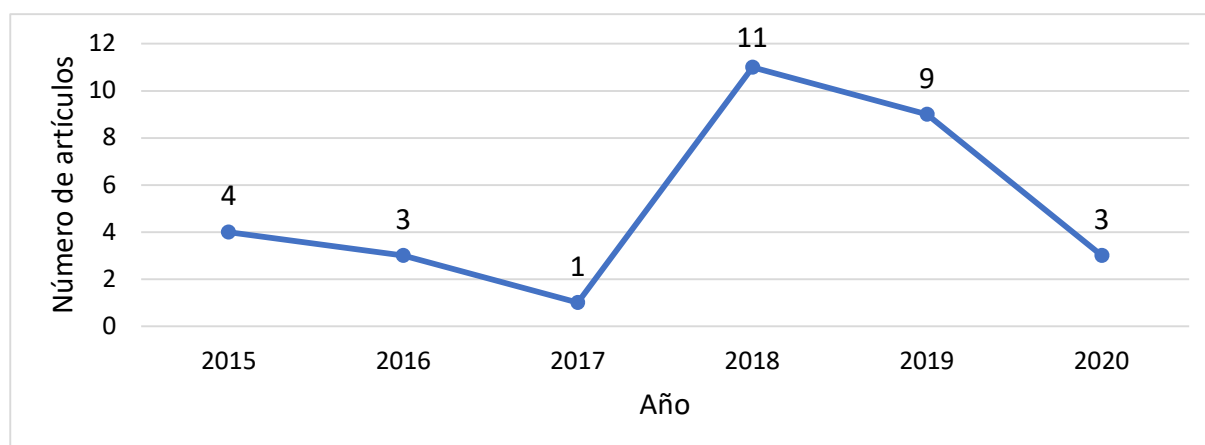
## 7 INSTRUMENTO

La recolección de la información se realizará en una base de datos de Excel a medida que se van evaluando los artículos de relevancia para el análisis.

### 7.1 Plan de análisis estadístico:

Implicará el cálculo de medidas de resumen dependiendo de las características y naturaleza de las variables. Para las cualitativas se obtendrán frecuencias absolutas y para la cuantitativas se calcularán medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (rango, desviación estándar y varianza). Los resultados se presentarán en textos, tablas y gráficos, buscando sintetizarlos y promoviendo la mejor comprensión por parte de los lectores.

## 8 RESULTADOS

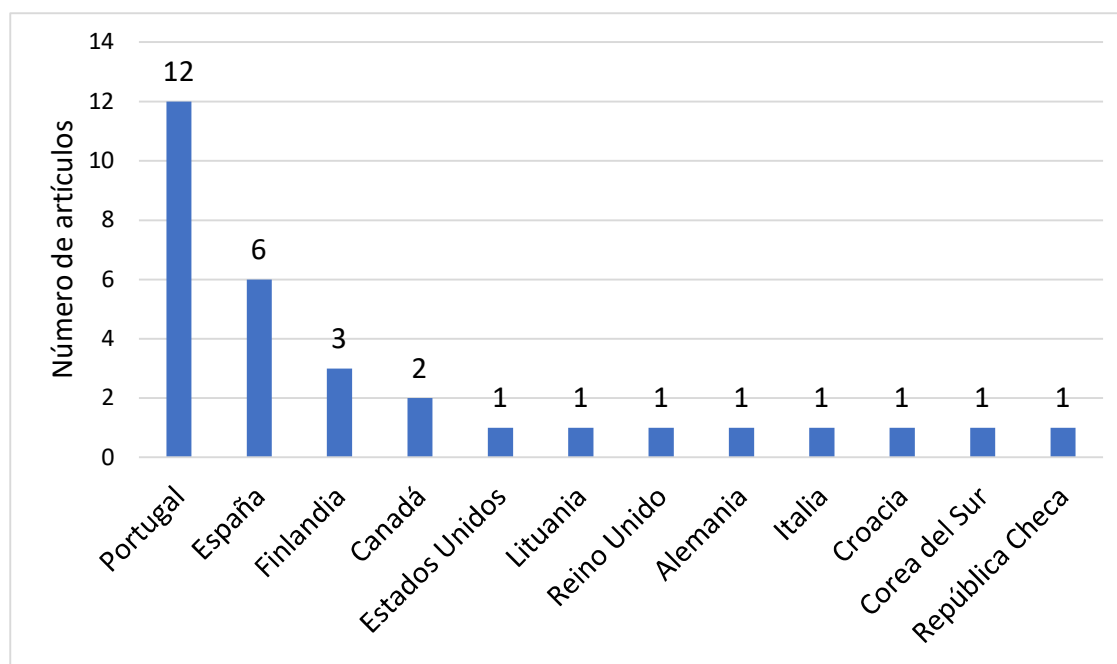


*Fuente: Creación propia*

*Figura 14. Patrón de producción científica por año de entrega- Publicaciones entre 2015-2020*

En la Figura 14. “Patrón de producción científica por año de entrega- Publicaciones entre 2015-2020” Se observa la trazabilidad de la producción científica comprendida entre el periodo de 2015 y el 2020, con los parámetros anteriormente descritos y en la base de datos Sciencedirect; muestra que entre el año 2018 y el 2019 respectivamente, se produjo la mayor producción intelectual en este campo. Cabe recalcar que, en esta gráfica, solo se incluyeron los artículos que cumplían con todos los parámetros del

análisis. Lo anterior indica que entre el año 2018 y 2019 se produjo el 64.51% de todos los artículos efectivos para este análisis.



Fuente: Creación propia

Figura 15. Distribución global de los artículos publicados sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad. Periodo 2015 – 2020.

La Figura 15. “Distribución global de los artículos publicados sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad. Periodo 2015 – 2020” indica la distribución geográfica de la muestra efectiva analizada; en la cual se observa que los países que tuvieron mayor participación y cuya producción científica cumplía con los parámetros evaluados en este análisis fueron Portugal y España con una producción de 12 y 6 artículos respectivamente, que equivalen aproximadamente a un 58.06% de toda la muestra efectiva analizada.

Revista de publicación	Número de publicaciones	Puntaje de citación	Factor de impacto	Idioma
Construction and Building Materials	17	7.4	4.419	Inglés
Journal of Cleaner Production	4	10.9	7.246	Inglés
Cement and Concrete Composites	2	9.3	6.257	Inglés
Energy and Buildings	1	9.9	4.867	Inglés
Fuel Processing Technology	1	9.5	4.982	Inglés
Journal of CO2 Utilization	1	8.2	5.993	Inglés
Journal of Hazardous Materials	1	13.1	9.038	Inglés
Materials & Design	1	13	6.289	Inglés
Materials Letters	1	5.5	3.204	Inglés
Process Safety and Environmental Protection	1	7.2	4.966	Inglés
Sustainable Cities and Society	1	7.5	5.268	Inglés

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 2. Listado de revista con publicaciones sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.*

La Tabla 2. “Listado de revista con publicaciones sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020”; muestra el indicador del factor de impacto de los artículos analizados, el cual sirve para evaluar la importancia relativa de un artículo científico; del mismo modo se incluye el indicador de puntaje de citación que también es una forma sencilla de medir el impacto de las citas de las fuentes. Estos indicadores fueron tomados del Elsevier - Scopus.

Autor	Número de publicaciones	País
J.A. Labrincha	11	Portugal
R.M. Novais	8	Portugal
M.P. Seabra	7	Portugal
L. Senff	5	Brasil
J. Carvalheiras	4	Portugal
Katja Ohenoja	3	Finlandia
M. Saeli	3	Portugal
Mirja Illikainen	3	Finlandia

Continuación Tabla 3. Listado de autores más relevantes con publicación de más de 2 artículos sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.

<b>Autor</b>	<b>Número de publicaciones</b>	<b>País</b>
A. De Rossi	2	Brasil
C. Medina	2	España
Chiara Giosué	2	Italia
D. Hotza	2	Brasil
D.M. Tobaldi	2	Portugal
Francesca Tittarelli	2	Italia
Francisco Agrela	2	Portugal
I.F. Sáez del Bosque	2	España
J.M. Medina	2	España
Jouni Rissanen	2	Finlandia
M. Frías	2	España
M.I. Sánchez de Rojas	2	España
M.J. Ribeiro	2	Portugal
Manuel G. Beltrán	2	España
Paivo Kinnunen	2	Finlandia
R.F.P.M. Moreira	2	Brasil
Robert C. Pullar	2	Portugal

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 3. Listado de autores más relevantes con publicación de más de 2 artículos sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.*

La Tabla 3. “Listado de autores más relevantes con publicación de más de 2 artículos sobre inclusión de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.” Muestra los autores que mayor participación en la producción científica sobre el tema del análisis en cuestión y cuya producción cumple con los parámetros propuestos para este análisis bibliométrico. En el listado destacan João Antonio Labrincha quien es profesor asociado al departamento de ingeniería de materiales y cerámica de la universidad de Aveiro y miembro del centro de investigación cerámica y compuestos (CICECO) tras su doctorado en ciencia e ingeniería de materiales (universidad de Aveiro, 1993) implementó una línea de investigación sobre reciclaje de residuos y uso sostenible de recursos.

También destaca la participación de Rui Miguel Novais actualmente investigador en el departamento de ingeniería de materiales y cerámica y el instituto de materiales (CICECO). tiene experiencia en química, física, ciencia de polímeros y materiales.

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Revista publicación</b>	<b>de</b>	<b>Número de citaciones</b>
<b>Jan Fořt et al.</b>	Biomass fly ash as an alternative to coal fly ash in blended cements: Functional aspects	2020	República Checa	Construction and Building Materials	and	1
<b>Ahmed Omran et al.</b>	Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash	2018	Canadá	Construction and Building Materials	and	8
<b>E.R. Teixeira et al.</b>	Quality and durability properties and life-cycle assessment of high-volume biomass fly ash mortar	2019	Portugal	Construction and Building Materials	and	17
<b>M. Saeli et al.</b>	Novel biomass fly ash-based geopolymeric mortars using lime slaker grits as aggregate for applications in construction: Influence of granulometry and binder/aggregate ratio	2018	Portugal	Construction and Building Materials	and	3
<b>Rui M. Novais et al.</b>	Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment	2018	Portugal	Construction and Building Materials	and	16
<b>M. Saeli et al.</b>	Mix design and mechanical performance of geopolymeric binders and mortars using biomass fly ash and alkaline effluent from paper-pulp industry	2018	Portugal	Journal of Cleaner Production		22
<b>Džigita Nagrockienė et al.</b>	Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash	2018	Lituania	Construction and Building Materials	and	24
<b>J.-M. Lessard et al.</b>	Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production	2016	Canadá	Construction and Building Materials	and	13
<b>Katja Ohenoja et al.</b>	Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application	2020	Finlandia	Journal of CO2 Utilization		3
<b>Chiara Giosuè et al.</b>	Performance of lightweight cement-based and alkali-activated mortars exposed to high-temperature	2019	Italia	Construction and Building Materials	and	11
<b>Shuangzhen Wang et al.</b>	Cofired biomass fly ashes in mortar: Reduction of Alkali Silica Reaction (ASR) expansion, pore solution chemistry and the effects on compressive strength	2015	Estados Unidos	Construction and Building Materials	and	27

Continuación Tabla 4. Listado de citas por artículo incluidos en publicaciones sobre adición de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Revista de publicación</b>	<b>Número de citas</b>
<b>M.M. Alonso et al.</b>	Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation: A study of strength, radiology and leaching behaviour	2019	España	Cement and Concrete Composites	15
<b>Rui M. Novais et al.</b>	In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs	2018	Portugal	Journal of Cleaner Production	3
<b>A. De Rossi et al.</b>	Effect of the particle size range of construction and demolition waste on the fresh and hardened-state properties of fly ash-based geopolymer mortars with total replacement of sand	2019	Portugal	Process Safety and Environmental Protection	7
<b>M. Saeli et al.</b>	Green geopolymeric concrete using grits for applications in construction	2018	Portugal	Materials Letters	10
<b>Rui M. Novais et al.</b>	Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material	2019	Portugal	Construction and Building Materials	5
<b>Xiao-Yong Wang et al.</b>	Design of low-cost and low-CO <sub>2</sub> air-entrained fly ash-blended concrete considering carbonation and frost durability	2020	Corea del Sur	Journal of Cleaner Production	1
<b>Katja Ohenoja et al.</b>	Effect of particle size distribution on the self-hardening property of biomass-peat fly ash from a bubbling fluidized bed combustion	2015	Finlandia	Fuel Processing Technology	19
<b>Ivana Carević et al.</b>	Correlation between physical and chemical properties of wood biomass ash and cement composites performances	2019	Croacia	Construction and Building Materials	7
<b>Manuel G. Beltrán et al.</b>	Mechanical performance of bedding mortars made with olive biomass bottom ash	2015	España	Construction and Building Materials	23
<b>J.M. Medina et al.</b>	Durability of new blended cements additioned with recycled biomass bottom ASH from electric power plants	2019	España	Construction and Building Materials	11

Continuación Tabla 4. Listado de citas por artículo incluidos en publicaciones sobre adición de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Revista de publicación</b>	<b>Número de citas</b>
<b>Jouni Rissanen et al.</b>	The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar	2019	Finlandia	Construction and Building Materials	5
<b>Rui M. Novais et al.</b>	Influence of blowing agent on the fresh- and hardened-state properties of lightweight geopolymers	2016	Portugal	Materials & Design	50
<b>Rocío N. González-Kunz et al.</b>	Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts	2016	España	Sustainable Cities and Society	29
<b>Julia Rosales et al.</b>	Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars	2017	España	Journal of Cleaner Production	34
<b>J.M. Medina et al.</b>	Design and properties of eco-friendly binary mortars containing ash from biomass-fuelled power plants	2018	España	Cement and Concrete Composites	6
<b>Aaron Fuller et al.</b>	Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering	2018	Alemania	Construction and Building Materials	7
<b>Leire H. Buruberrri et al.</b>	Preparation of clinker from paper pulp industry wastes	2015	Portugal	Journal of Hazardous Materials	53
<b>Rui M. Novais et al.</b>	Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance	2019	Portugal	Energy and Buildings	6
<b>Lucie Fusade et al.</b>	The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings	2018	Reino Unido	Construction and Building Materials	15
<b>D. Eliche-Quesada et al.</b>	Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks	2015	España	Waste Management	75
<b>A. De Rossi et al.</b>	Waste-based geopolymeric mortars with very high moisture buffering capacity	2018	Portugal	Construction and Building Materials	17

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 4. Listado de citas por artículo incluidos en publicaciones sobre adición de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015 – 2020.*

En la Tabla 4. “Listado de citas por artículo incluidos en publicaciones sobre adición de Biomasa y su incidencia en parámetros de resistencia y durabilidad entre 2015-20220” Se muestra en detalle la métrica de los artículos más citados del análisis. En la tabla los artículos más destacados cuentan con una métrica de citación de 75 y 53 veces respectivamente:

1. “Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks.” D. Eliche - Quesada et al. – España
2. “Preparation of clinker from paper pulp industry wastes” Leire H. Buruberri et al. - Portugal

TÍTULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	RESISTENCIA (28d-90d)
<b>Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar</b>	Wood-based biomass fly ash (WBFA)	WBFA	5 %	44 MPa
<b>Performance of lightweight cement-based and alkali-activated mortars exposed to high-temperature</b>	Metakaolin- Coal fly ash	CFA	50%	17.2 MPa
<b>Cofired biomass fly ashes in mortar: Reduction of Alkali Silica Reaction (ASR) expansion, pore solution chemistry and the effects on compressive strength</b>	Fly ashes from coal combustion.	CFA	25%	21 MPa
<b>Design of low-cost and low-CO2 air-entrained fly ash-blended concrete considering carbonation and frost durability</b>	Coal Fly Ash	CFA	25%	37.3 MPa
<b>Durability of new blended cements added with recycled biomass bottom ASH from electric power plants</b>	Recycled biomass bottom ASH from electric power plants CFA	CFA	10%	67.84 ± 1.43 MPa
<b>Influence of blowing agent on the fresh- and hardened-state properties of lightweight geopolymers</b>	Fly ash from biomass burning in a fluidised bed combustor. CFA	CFA	3%	21 MPa

Continuación Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.

<b>TÍTULO PUBLICACIÓN</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% MAT</b>	<b>RESISTENCIA (28d-90d)</b>
<b>Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars</b>	Biomass combustion fly ash	CFA	20%	36.18 MPa
<b>Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash</b>	Biomass combustion fly ash	NON-WOODY FA	15%	38.3 MPa
<b>Design and properties of eco-friendly binary mortars containing ash from biomass-fuelled power plants</b>	Biomass bottom ash ( from non-woody (straw, rye, oats, corn)	NON-WOODY FA	10%	37.68 MPa
<b>Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation: A study of strength, radiology and leaching behaviour</b>	Olive Biomass fly Ash	OBFA	30%	30 MPa
<b>Mechanical performance of bedding mortars made with olive biomass bottom ash</b>	Olive Biomass bottom ash	OBFA	10%	49.95 MPa
<b>Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts</b>	Palm oil fuel ash (POFA)	POFA	10%	48 MPa
<b>Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash</b>	Biomass-fly ash (BFA) by-product pulp and paper industry	PWBFA	25%	34 MPa

Continuación Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.

TÍTULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	RESISTENCIA (28d-90d)
<b>Novel biomass fly ash-based geopolymetric mortars using lime slaker grits as aggregate for applications in construction: Influence of granulometry and binder/aggregate ratio</b>	Bio mass fly ash(Kraft pulp)_ lime slaker grits	PWBFA	70%_30%	22.15 MPa
<b>Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment</b>	Biomass FA (Kraft pulp) and dregs wastes	PWBFA	25%	21 MPa
<b>Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production</b>	Pulp and paper biomass-fly ash (BFA)	PWBFA	10%	67 MPa
<b>Green geopolymetric concrete using grits for applications in construction</b>	Fly Ash From Kraft Pulp Industry	PWBFA	70%	22.15 MPa
<b>Preparation of clinker from paper pulp industry wastes</b>	Paper pulp industry wastes	PWBFA	57%	13 MPa
<b>Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance</b>	Pyrolysed cork	PYROLYSE D CORK	87.5%	0.15 MPa

Continuación Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.

TÍTULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	RESISTENCIA (28d-90d)
<b>Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material</b>	Pyrolysed cork	PYROLYSED CORK	2.5%	15.3 MPa
<b>Biomass fly ash as an alternative to coal fly ash in blended cements: Functional aspects</b>	(Wood-based biomass fly ash (WBFA))	WBFA	10%	
<b>Mix design and mechanical performance of geopolymeric binders and mortars using biomass fly ash and alkaline effluent from paper-pulp industry</b>	Eucalyptus wood(BFA) and an alkaline effluent (AEF)	WBFA	70%	21 MPa
<b>Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application</b>	FBC fly ashes from combustion of peat and wood	WBFA	60%_40%	7 MPa
<b>In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs</b>	Fly ash, produced by a Portuguese pulp mill	PWBFA	70%	21 MPa

Continuación Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.

<b>TÍTULO PUBLICACIÓN</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% MAT</b>	<b>RESISTENCIA (28d-90d)</b>
<b>Effect of the particle size range of construction and demolition waste on the fresh and hardened-state properties of fly ash-based geopolymers mortars with total replacement of sand</b>	Construction and demolition waste (fly ash-based (burned Eucalyptus biomass))	WBFA	75%	40 MPa
<b>Effect of particle size distribution on the self-hardening property of biomass-peat fly ash from a bubbling fluidized bed combustion</b>	Fly ash from a bubbling fluidized bed combustion (60% of peat and 40% of forest industry residuals.)	WBFA	60%_40%	20 MPa
<b>Correlation between physical and chemical properties of wood biomass ash and cement composites performances</b>	Wood biomass fly ash	WBFA	10%	20 MPa
<b>The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar</b>	(FBCFA) Fly ash samples from the circulating fluidized bed combustion of wood and peat	WBFA	20%	48.2 MPa
<b>Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering</b>	Wood dust II fly ashes (by Advance Green_scenario used to produce wood dust I fly ash)	WBFA	25%	39.1 MPa
<b>The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings</b>	Wood ash from a biomass boiler	OBFA	70%	2.5 MPa ±0.5

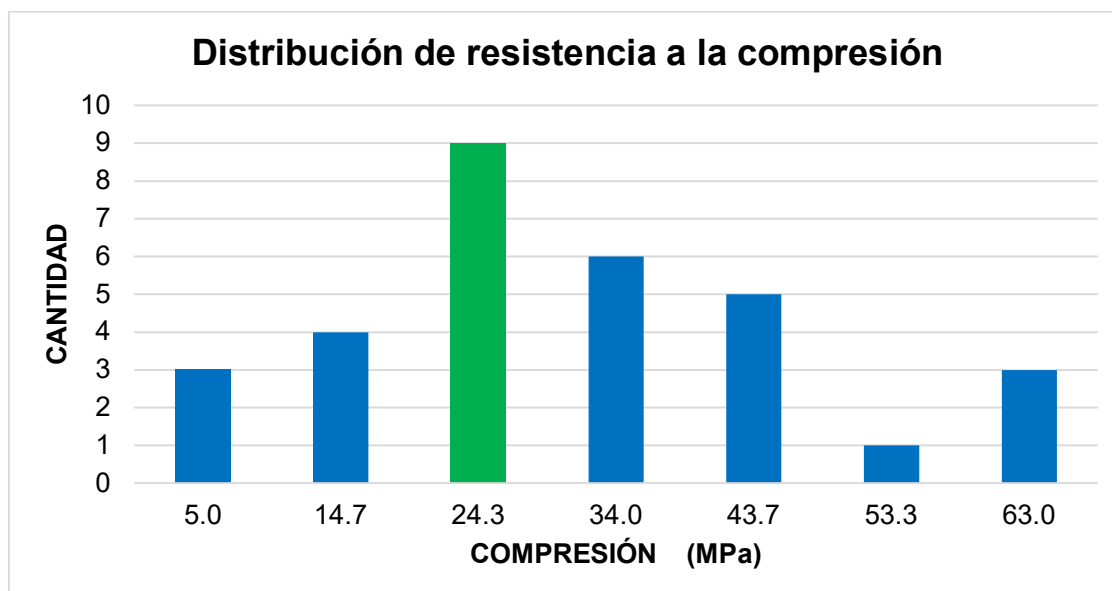
Continuación Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.

TÍTULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	RESISTENCIA (28d-90d)
<b>Waste-based geopolymeric mortars with very high moisture buffering capacity</b>	Fly ash from biomass (eucalyptus) burning in the bubbling fluidized combustor of a paper pulp plant	WBFA	75%	11.9 ± 0.7 MPa

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 5. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020.*

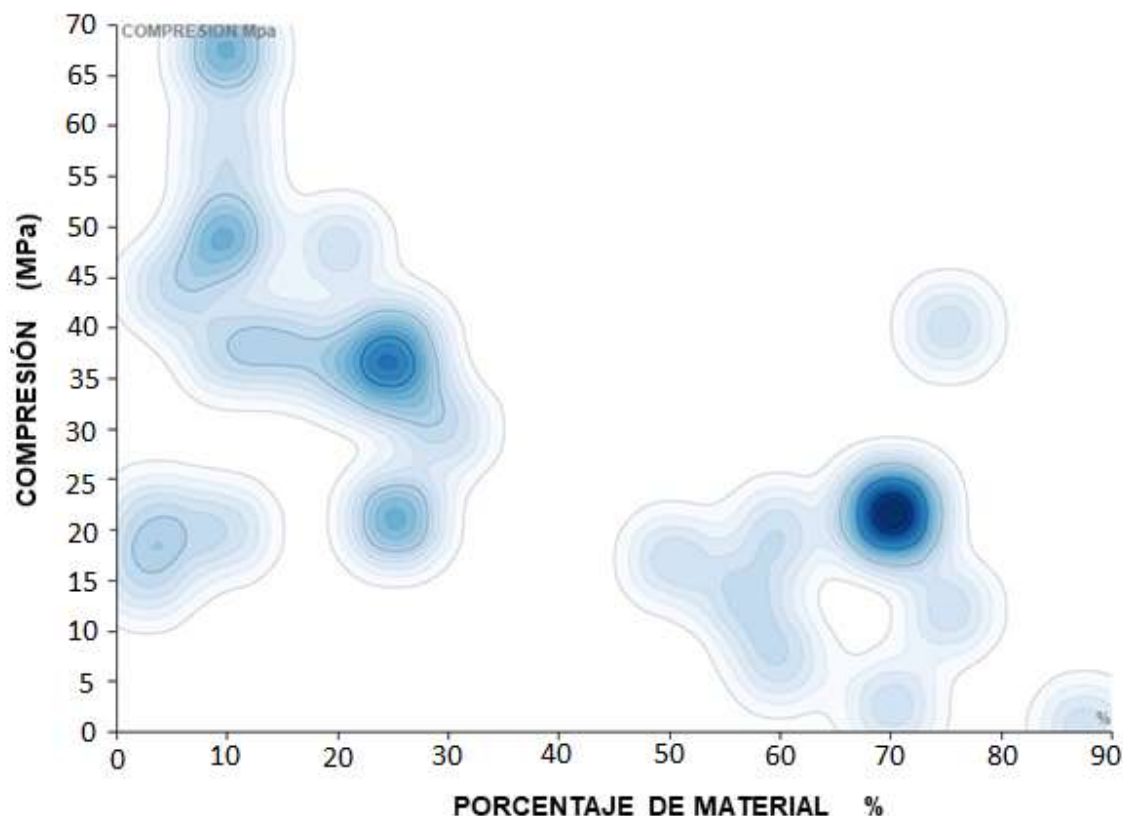
La Tabla 5. “Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de resistencia a la compresión - flexión entre 2015 – 2020”. Muestra los valores de resistencia en Mega Pascales (MPa) y porcentaje de biomasa adicionado para periodos comprendidos entre 28 y 90 días en donde se asume siempre el mayor valor arrojado por las pruebas realizadas y consignadas en el documento recuperado.



*Fuente: Creación propia*

*Figura 16. Distribución modal de compresión*

En la figura 16 se muestra la distribución modal de las resistencias a la compresión comprendidas en el presente análisis bibliométrico. De la gráfica podemos asumir que la magnitud que aparece con mayor frecuencia es la de 24,3 MPa aproximadamente, seguido por 34 MPa y por último 53 MPa. Lo anterior nos permite inferir la viabilidad del uso de material de biomasa para la formación de compuestos que deriven en concretos de uso estructural.



*Fuente: Creación propia*

*Figura 17. Dispersión modal de compresión*

En la figura 17 se muestra la dispersión de las diferentes resistencias obtenidas junto con sus respectivos porcentajes de adición de material, De la gráfica podemos inferir que los resultados en las pruebas de compresión tienden a ser mayores cuando los porcentajes de material oscilan entre un 5% y 30%. De la gráfica también podemos inferir que porcentajes por encima del 50% aunque obtienen una magnitud considerable en su resistencia a la compresión, la tendencia se concentra entre 15MPa y 25 MPa.

El análisis bibliométrico indica que la mayor magnitud de resistencia se obtuvo en una investigación (Durability of new blended cements additioned with recycled biomass bottom ASH from electric power plants) realizada en España por el Departamento de Construcción, Escuela Politécnica de Cáceres publicada en la revista Construction and building materials del año 2019, en donde lograron una resistencia a la compresión de  $67.84 \pm 1.43$  MPA con una adición del 10% de PWBFA obtenida del reciclado de desechos de una planta de energía eléctrica. También se destacan investigaciones como (Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production) realizada en Canada por el Cement and Concrete Research Group, Dept. of Civil Eng., Université de Sherbrooke, publicada en la revista Construction and Building Materials del año 2016 en donde lograron una resistencia a la compresión de 67 MPA con una adición del 10% de CFA obtenidos también a partir del reciclado de desechos de una planta de energía eléctrica. Según el análisis los materiales cuyas magnitudes encabezan la matriz fueron PWBFA Y CFA, de los cuales se sabe que no poseen ninguna propiedad hidráulica, pero según el análisis de composición química y SEM (micro estructura) se infiere que poseen constituyentes (silice – alumina) que bajo las condiciones adecuadas de temperatura y humedad son capaces de fijar hidróxido de cal para dar compuestos con propiedades hidráulicas.

También mediante la matriz arrojada por el análisis bibliométrico, fue posible determinar el peor desempeño en términos de aplicación estructural por la magnitud de la resistencia obtenida. El análisis de la literatura recuperada arrojó que una investigación (Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance

) realizada en Portugal por el Department of Materials and Ceramic Engineering / CICECO-Aveiro Institute of Materials, University of Aveiro, Campus Universitário de Santiago, publicada en la revista Energy and Buildings del año 2019, obtuvieron un resultado para la resistencia a la compresión de 0.15 MPA con una adición del 87.5% en gránulos de corcho negro expandido y desechos de una planta de papel. Cabe mencionar que, pese a no tener una resistencia a la compresión competente, este tipo de compuestos tienen un alto potencial de inclusión debido a sus propiedades de insonorización acústica y bajo coeficiente de transferencia térmica.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar</b>	Wood-based biomass fly ash (WBFA)	WBFA	5 % BFA	CARBONATION DEPTH	16 mm

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Performance of lightweight cement-based and alkali-activated mortars exposed to high-temperature</b>	Metakaolin-Coal fly ash	CFA	50% _50%	THERMAL TRANSMITTANCE	0.09 W / m · K
<b>Cofired biomass fly ashes in mortar: Reduction of Alkali Silica Reaction (ASR) expansion, pore solution chemistry and the effects on compressive strength</b>	Fly ashes from coal combustion.	CFA	25%	PERMEABILITY (CHLORIDE ION)	2000 Coulombs
<b>Design of low-cost and low-CO2 air-entrained fly ash-blended concrete considering carbonation and frost durability</b>	Coal Fly Ash	CFA	25%	CARBONATION DEPTH	25 mm
<b>Durability of new blended cements added with recycled biomass bottom ASH from electric power plants</b>	Recycled biomass bottom ASH from electric power plantsCFA	CFA	10%	POROSITY	11.78 %
<b>Influence of blowing agent on the fresh- and hardened-state properties of lightweight geopolymers</b>	Fly ash from biomass burning in a fluidised bed combustor. CFA	CFA	3%	DENSITY	1150 Kg/m3
<b>Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars</b>	Biomass combustion fly ash	CFA	20%	POROSITY	11.3 %

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash</b>	Biomass combustion fly ash	NON-WOODY FA	15%	WATER ABSORTION RATE	3.72 %
<b>Design and properties of eco-friendly binary mortars containing ash from biomass-fuelled power plants</b>	Biomass bottom ash ( from non-woody (straw, rye, oats, corn)	NON-WOODY FA	10%	POROSITY	10.69 %
<b>Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation: A study of strength, radiology and leaching behaviour</b>	Olive Biomass fly Ash	OBFA	30%	CONDUCTIVIT Y	22.2 mS/cm
<b>Mechanical performance of bedding mortars made with olive biomass bottom ash</b>	Olive Biomass bottom ash	OBFA	10%	DENSITY	2200 Kg/m3
<b>Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts</b>	Palm oil fuel ash (POFA)	POFA	10%	PERMEABILITY (CHLORIDE - ION)	1905 Coulombs
<b>Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash</b>	Biomass-fly ash (BFA) by-product pulp and paper industry	PWBFA	25%	PERMEABILITY (CHLORIDE - ION)	8000 Coulombs

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Novel biomass fly ash-based geopolymeric mortars using lime slaker grits as aggregate for applications in construction: Influence of granulometry and binder/aggregate ratio</b>	Bio mass fly ash(Kraft pulp)_ lime slaker grits	PWBFA	70%_30 %	CAPILLARITY COEFFICIENT	0.75 Kg/m <sup>2</sup> *min 1/2
<b>Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment</b>	Biomass FA (Kraft pulp) and dregs wastes	PWBFA	25%	CAPILLARITY COEFFICIENT	0.4 Kg/m <sup>2</sup> *min 1/2
<b>Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production</b>	Pulp and paper biomass-fly ash (BFA)	PWBFA	10%	ELECTRICAL RESISTIVITY	54 kΩ cm
<b>Green geopolymeric concrete using grits for applications in construction</b>	Fly Ash From Kraft Pulp Industry	PWBFA	70%	WATER ABSORTION RATE	38 %

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Preparation of clinker from paper pulp industry wastes</b>	Paper pulp industry wastes	Paper pulp industry wastes	57%	DENSITY	2028 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance</b>	Pyrolysed cork	Pyrolysed cork	87.5%	DENSITY	168 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material</b>	Pyrolysed cork	PYROLYSED CORK	2.5%	MICROWAVE ANALYSIS	5.7 –dB g –1 cm <sup>3</sup>
<b>Biomass fly ash as an alternative to coal fly ash in blended cements: Functional aspects</b>	(Wood-based biomass fly ash (WBFA))	WBFA	10%	PORE VOLUME	0.03 cm <sup>3</sup> /g
<b>Mix design and mechanical performance of geopolymeric binders and mortars using biomass fly ash and alkaline effluent from paper-pulp industry</b>	Eucalyptus wood(BFA) and an alkaline effluent (AEF)	WBFA	70%	CAPILLARITY COEFFICIENT	0.79 Kg/m <sup>2</sup> *min <sup>1/2</sup>
<b>Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application</b>	FBC fly ashes from combustion of peat and wood	WBFA	60%_40%	Brunauer-Emmett-Teller (BET)	57 m <sup>2</sup> /g

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs</b>	Fly ash, produced by a Portuguese pulp mill	PWBFA	70%	LEACHABILITY	400 µg/L
<b>Effect of the particle size range of construction and demolition waste on the fresh and hardened-state properties of fly ash-based geopolymer mortars with total replacement of sand</b>	Construction and demolition waste (fly ash-based (burned Eucalyptus biomass))	WBFA	75%	WATER ABSORTION RATE	12.2 %
<b>Effect of particle size distribution on the self-hardening property of biomass-peat fly ash from a bubbling fluidized bed combustion</b>	Fly ash from a bubbling fluidized bed combustion (60% of peat and 40% of forest industry residuals.)	WBFA	60%_40 %	DENSITY	1690 Kg/m3
<b>Correlation between physical and chemical properties of wood biomass ash and cement composites performances</b>	Wood biomass fly ash	WBFA	10%	CAPILLARITY COEFFICIENT	3.25 Kg/m2*min 1/2
<b>The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar</b>	(FBCFA) Fly ash samples from the circulating fluidized bed combustion of wood and peat	WBFA	20%	CAPILLARITY COEFFICIENT	0.02 Kg/m2*min 1/2

Continuación Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.

TITULO PUBLICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIAL	% MAT	DURABILIDAD	MAG_DUR
<b>Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering</b>	Wood dust II fly ashes (by Advance Green_scenario used to produce wood dust I fly ash)	WBFA	25%	REALTIVE SHRINKAGE	0.5 ((-0.5))( $\epsilon_{sh}(t)$ )
<b>The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings</b>	Wood ash from a biomass boiler	OBFA	70%	VAPOUR PERMEABILITY	4.5 g/m <sup>2</sup> *day/k Pa
<b>Waste-based geopolymetric mortars with very high moisture buffering capacity</b>	Fly ash from biomass (eucalyptus) burning in the bubbling fluidized combustor of a paper pulp plant	WBFA	75%	POROSITY	44.4 %

*Fuente: Creación propia*

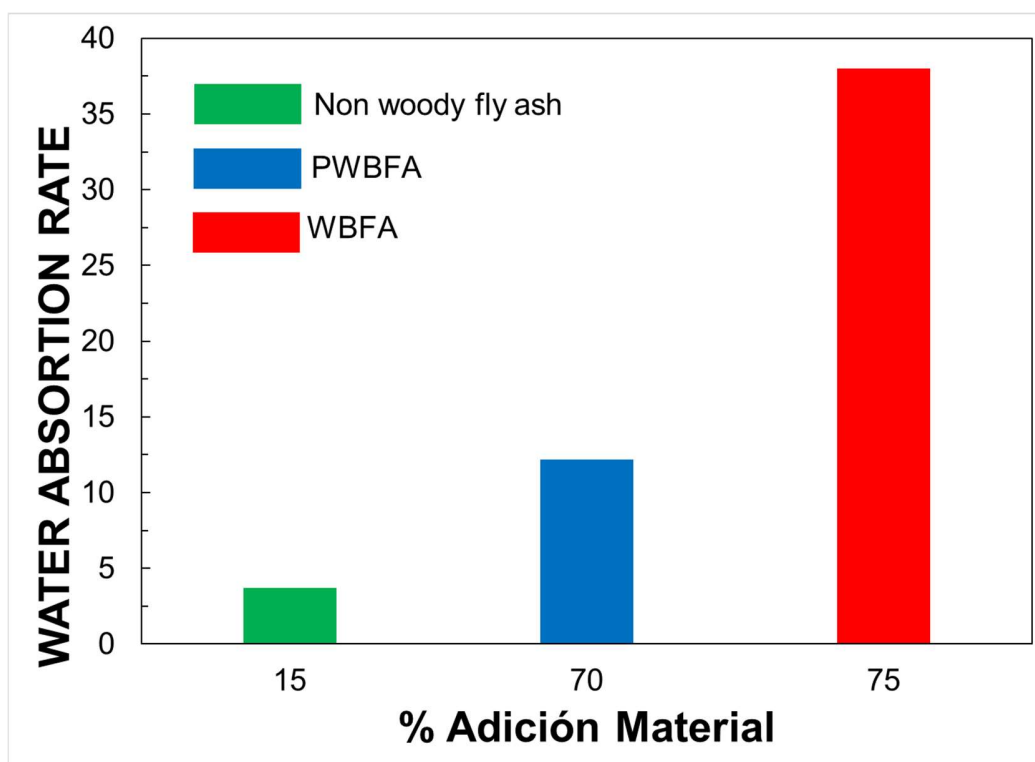
*Tabla 6. Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.*

La Tabla 6. “Listado de resultados sobre adición de Biomasa y su incidencia en el parámetro de durabilidad entre 2015 – 2020.” Muestra los diferentes métodos y magnitudes obtenidas al evaluar la durabilidad en función del tipo de prueba realizado, así como el porcentaje de biomasa adicionado en donde se asume siempre el mayor valor arrojado por las pruebas realizadas y consignadas en el documento recuperado. Se debe tener en cuenta que los aspectos más relevantes a considerar en términos de durabilidad son: porosidad, absorción, permeabilidad, compacidad del concreto y

hermeticidad. Las pruebas realizadas por las diferentes investigaciones tienen como objetivo, determinar o medir alguno de los aspectos mencionados. Por otro lado, también existen pruebas no convencionales debido a que algunos ensayos no serían concluyentes gracias a la anisotropía del compuesto y las diferentes variables que influyen al incorporar biomasa a la pasta hidráulica.

El análisis bibliométrico indica resultados positivos en términos de resistencia y durabilidad en investigaciones como (Durability of new blended cements additioned with recycled biomass bottom ASH from electric power plants) realizada en España en el año 2019 por el Departamento de Construcción, Escuela Politécnica de Cáceres en colaboración con el departamento de cementos y reciclado de materiales, instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. En la cual se obtuvo una porosidad con un valor en porcentaje de volumen de la muestra de 11.8% Vol. con una adición del 10% de PWBFA obtenida del reciclado de desechos de una planta de energía eléctrica.

A continuación, se presenta la agrupación a partir del análisis bibliométrico realizado de la literatura recuperada de los resultados en magnitud de la durabilidad para cada una de las diferentes pruebas identificadas, así como también para cada uno de los diferentes tipos de biomasa.



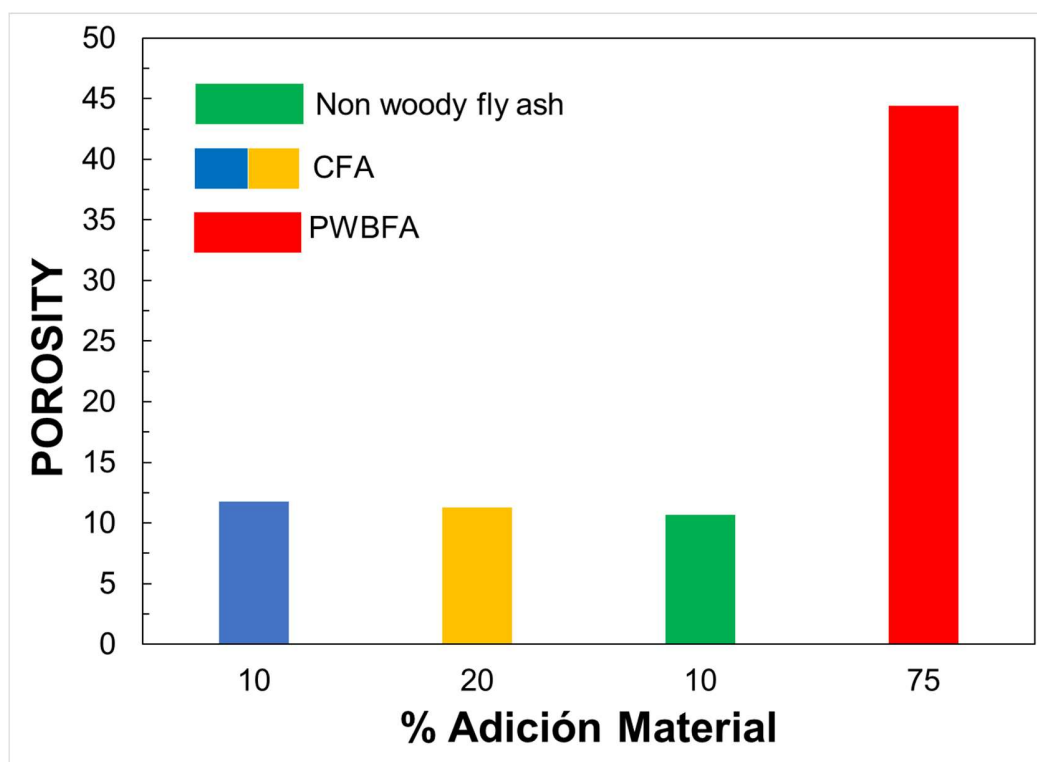
*Fuente: Creación propia*

*Figura 18. Porcentaje de material vs Tasa de absorción de agua*

Uno de los parámetros que mejor representa el mecanismo por el cual el agua entra a la estructura es el de la Tasa de absorción de agua, ya que este flujo de agua al interior de elemento puede acarrear en la degradación de las propiedades físicas y químicas del elemento.

En la Figura 18 se observan todas las tasas de absorción recuperadas de la literatura, así como el tipo de biomasa evaluada. De la gráfica podemos asumir que el material que menos tasa de absorción de agua presentó fue las cenizas volantes no leñosas cuya magnitud fue de 3.72% con una inclusión de 15% de NON-WOODY FA; proveniente de una investigación (Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash) realizada en Lituania en el año 2018 y publicada en la revista Construction and Building Materials.

De la Figura 18 también se puede inferir que la mayor tasa de absorción de agua corresponde al PWBFA pues en una investigación (Green geopolymetric concrete using grits for applications in construction) realizada en Portugal en el año 2018 y publicada en la revista Construction and Building Materials, arroja un porcentaje de tasa de absorción de agua de 38% siendo este el más alto, encontrado en todo el análisis bibliométrico en esta prueba puntual.



*Fuente: Creación propia*

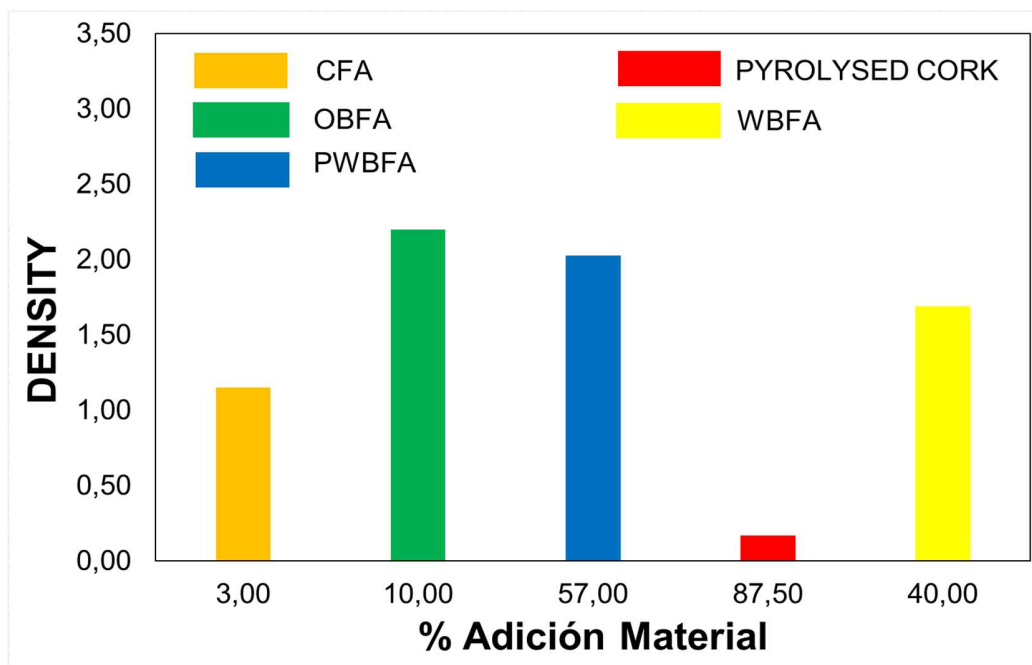
*Figura 19. Porcentaje de material vs Porosidad*

Una medida del volumen total de poros es la porosidad. Estos poros se encuentran en la estructura interna del concreto fraguado y e inciden en la resistencia y durabilidad del concreto. Entre más poroso sea el elemento, menor será su resistencia mecánica y será más susceptible a la agresividad del entorno (K. & P, 1998).

La cantidad total de poros, su interconectividad, distribución y tamaño son factores que pueden permitir la filtración y flujo de un fluido a través del cuerpo del elemento. Esta capacidad se conoce como permeabilidad. (Nokken, 2006)

En la Figura 19 se observan todos los porcentajes referentes a la porosidad en volumen de los artículos recuperados de la literatura, así como el tipo de biomasa evaluada. De la gráfica podemos asumir que el material que menos porcentaje de volumen de poros presento fue el de cenizas volantes no leñosas cuya magnitud fue de 11.3% con una inclusión de 20% de NON-WOODY FA; proveniente de una investigación (Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars) realizada en España en el año 2017 y publicada en la revista Journal of Cleaner Production.

De la Figura 19 también se puede inferir que el mayor porcentaje de volumen de poros corresponde al WBFA pues en una investigación (Waste-based geopolymetric mortars with very high moisture buffering capacity) realizada en Portugal en el año 2018 y publicada en la revista Construction and Building Materials, arroja un porcentaje de volumen de poroso de 44.4% siendo este el más alto, encontrado en todo el análisis bibliométrico en esta prueba puntual.

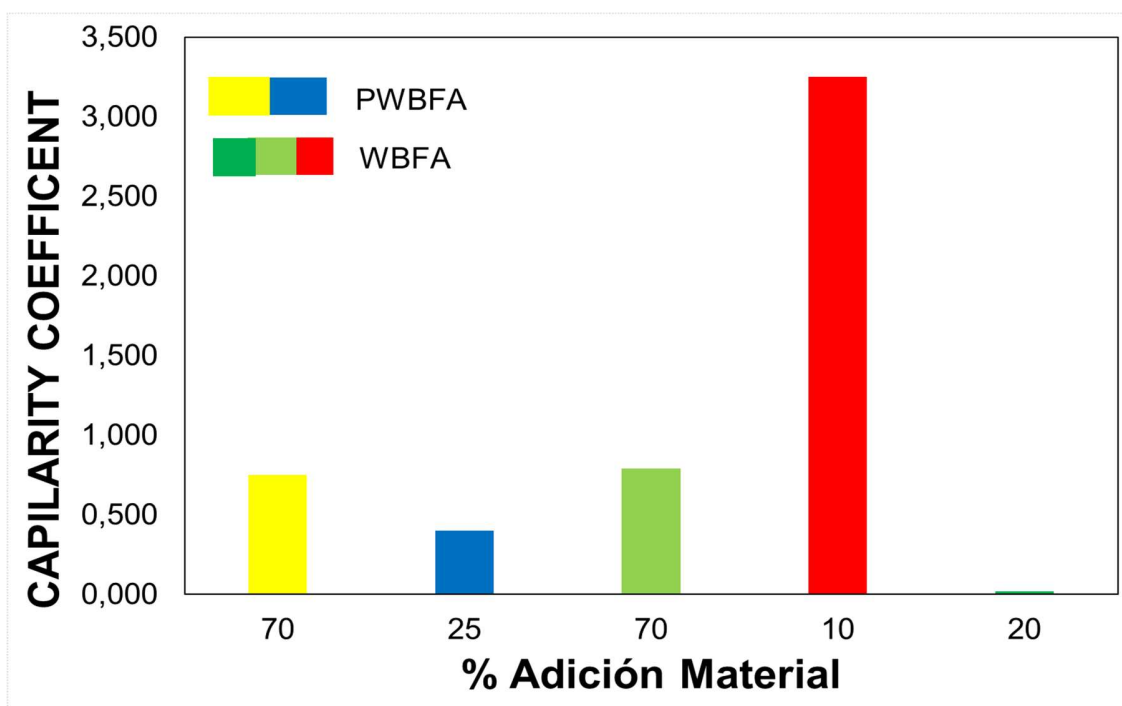


*Fuente: Creación propia*

*Figura 20. Porcentaje de material vs Densidad*

La densidad es un parámetro que describe la relación entre la masa y el volumen, para este último, la relación es inversamente proporcional con respecto a la densidad; es decir, a mayor volumen e igual masa, menor será la densidad. Este concepto aplicado al concreto se traduce en que, a mayor densidad, se esperan menores vacíos que pueden constituir un medio para el transporte de fluidos que pueden llegar a afectar la integridad del elemento.

En la Figura 20 se observan todos los valores de densidad recuperadas de la literatura, así como el tipo de biomasa evaluada. De la gráfica podemos asumir que el material que mayor densidad presentó fueron las cenizas volantes de olivo cuya magnitud fue de 2.2 g/cm<sup>3</sup> con una inclusión de 10% de OBFA; proveniente de una investigación (Mechanical performance of bedding mortars made with olive biomass bottom ash) realizada en España en el año 2015 y publicada en la revista Construction and Building Materials. De la Figura 20 también se puede inferir que la menor densidad obtenida corresponde al PYROLISED CORK pues en una investigación (Multifunctional cork – alkali-activated fly ash composites: A sustainable material to enhance buildings' energy and acoustic performance) realizada en Portugal en el año 2018 y publicada en la revista Energy and Buildings, arroja una densidad de 0.168 g/cm<sup>3</sup> siendo este el más bajo encontrado en todo el análisis bibliométrico en esta prueba puntual.



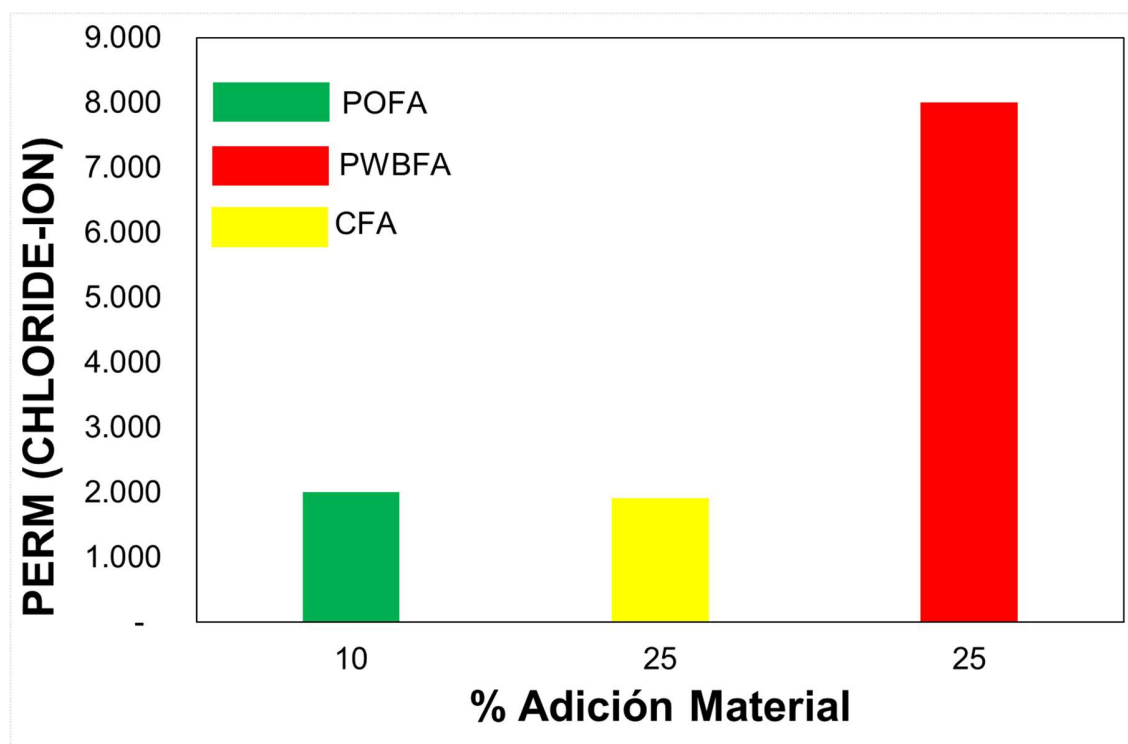
*Fuente: Creación propia*

*Figura 21. Porcentaje de material vs Coeficiente de capilaridad*

El coeficiente de capilaridad determina la predisposición de un elemento poroso a absorber y transmitir agua a través de él. Representa la porosidad efectiva y por lo tanto a los agentes agresivos ambientales (DURAR, 1997). En este sentido, este parámetro condiciona la vida útil del elemento.

De la Figura 21 se puede asumir que el material que presentó una menor tasa de Capilaridad corresponde a las cenizas volantes leñosas cuya magnitud fue de 0.02 ( $\text{Kg/m}^2 \text{h}^{-0.5}$ ) con una inclusión de 20% de WBFA; proveniente de una investigación (The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar) realizada en Finlandia en el año 2019 y publicada en la revista Construction and Building Materials.

De la Figura 21 también se puede inferir que la mayor tasa de capilaridad corresponde al WBFA pues en una investigación (Correlation between physical and chemical properties of wood biomass ash and cement composites performances) realizada en Croacia en el año 2019 y publicada en la revista Construction and Building Materials, arroja un porcentaje de tasa de capilaridad de 0.7 ( $\text{Kg/m}^2 \text{h}^{-0.5}$ ) siendo este el más alto, encontrado en todo el análisis bibliométrico en esta prueba puntual.



*Fuente: Creación propia*

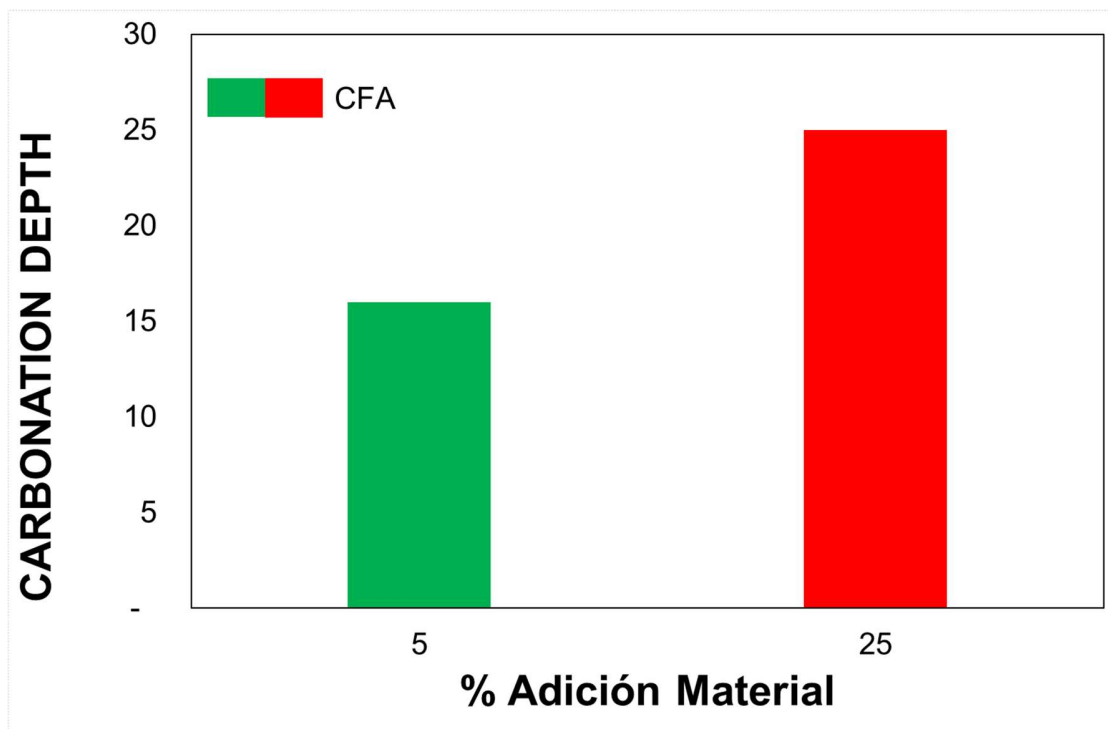
*Figura 22. Porcentaje de material vs Penetración de iones de cloruro*

La penetración de iones de cloruro en el hormigón está ligado a las condiciones en las cuales este está expuesto y la estructura puede estar sometida, como lo es el contacto con agua de mar de la estructura y el contacto con aerosol marino, el cual son pequeñas burbujas de agua marina que viajan por el aire. Estos iones deterioran las estructuras ya que al penetrar el hormigón llegan al refuerzo de acero y acelera considerablemente la velocidad de corrosión de estas. (Valdés, Brito, Mellor, Hernadez, & Perez, 2005)

En la Figura 22 se observa la permeabilidad a la penetración de iones de cloruro, de esta se puede inferir que el material que permitió una mayor permeabilidad, es decir que fue fácilmente atravesado por fluidos corresponde a PWBFA, cenizas volantes de desperdicio de papel, arrojando un valor de 8.000 Coulombs según una investigación ( Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash) realizada en Canadá, en el año 2018 y publicada por la revista Construction and Building Materials. En la cual hubo una adición del 25% de PWBFA.

También se observa en la Figura 22 que el material que arrojó una menor permeabilidad a los iones de cloruro fue POFA, cenizas de combustible de aceite de palma, el cual arrojó una permeabilidad de 1905 Coulombs, siendo 4 veces menos permeable que las cenizas volantes de desperdicio de papel, PWBFA, acorde a una investigación realizada (Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts) en España en el año 2016, con una adición del 10% de este material POFA.

Además de esto, las cenizas volantes de carbón, CFA, también obtuvieron una permeabilidad baja cercana a la que obtuvo la ceniza de combustible de aceite de palma POFA, arrojando un valor de 2000 Coulombs según una investigación ( Cofired biomass fly ashes in mortar: Reduction of Alkali Silica Reaction (ASR) expansion, pore solution chemistry and the effects on compressive strength ) realizada en Estados Unidos en el año 2015, con un porcentaje de reemplazo del 25 %.



*Fuente: Creación propia*

*Figura 23. Porcentaje de material vs Profundidad de carbonatación*

De la Figura 23 se puede deducir que la muestra que incluyó un 5% de Cenizas volantes de biomasa [CFA] según una investigación (Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar) realizada en Portugal en el año 2019, tiene una menor profundidad de carbonatación, haciéndola por esto una muestra más durable que la muestra a la cual se le adicionó 25% de Ceniza volante de carbon [CFA] según un estudio (Design of low-cost and low-CO2 air-entrained fly ash-blended concrete considering carbonation and frost durability) realizado en Corea del Sur en el año 2020.

Cuando se emplean grandes volúmenes de MSC materiales suplementicos complementarios, se pierde alcalinidad en el concreto resultante. Debido a esto se adicionó un 5 % de cenizas volantes para contrarrestar la disminución de alcalinidad en la muestra que contiene 45% de Cenizas volantes de carbón [CFA], dando como resultado un concreto más durable en comparación con el concreto al que solo se le adicionan Cenizas volantes de carbón [CFA], teniendo además un mejor desempeño ambiental que un mortero de concreto simple, lo que lleva a una producción de un mortero más ecológico.

TITULO PUBLICACION	MATERIAL	% ADICION	DURABILIDAD
Biomass fly ash as an alternative to coal fly ash in blended cements: Functional aspects	WBFA	10%	Pore volume 0,03 (cm <sup>3</sup> /g)

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 7. Artículo referente al volumen de poro*

La porosidad del concreto se ha modelado en función de ciertos parámetros influyentes como: el grado de hidratación del cemento usado ( $h$ ), la gravedad específica de cada uno de los agregados ( $\rho_f$  y  $\rho_g$ ), la relación agua/cemento, el volumen de aire ( $A$ ), cantidades de agregados tanto fino como grueso (Arena, AF- Grava, AG) y el cemento ( $c$ ) en una relación matemática expresada en la Ecuación (2) de Solís & Moreno. Solís & Moreno, 2006. (Solís, 2006)

$$P = \frac{\frac{a}{c} - 0.36h + \frac{A}{c}}{0.317 + \frac{1}{\rho_f} \frac{A_f}{c} + \frac{1}{\rho_g} \frac{A_g}{c} + \frac{A}{c}}$$

*Ecuación 2 Solís & Moreno*

Según la ecuación 2 propuesta por Solís y Moreno 2006, se evidencia como volumen de aire atrapado o volumen de poros influye directamente en la porosidad y por ende en la estimación de la durabilidad del elemento.

En la Tabla 7 se observa el porcentaje referente al volumen de poros de los artículos recuperados de la literatura, así como el tipo de biomasa evaluada. En el análisis Bibliométrico, solo una investigación determinó el volumen de poros; cabe aclarar que para estimar la porosidad es necesario este parámetro, pero solo en la investigación mencionada se profundizó en él. De la tabla se puede asumir que el volumen de poros presentado fue de cenizas volantes leñosas cuya magnitud fue de 0.03 cm<sup>3</sup>/g con una inclusión de 10% de WBFA; proveniente de una investigación (Biomass fly ash as an alternative to coal fly ash in blended cements: Functional aspects) realizada en Republica Checa en el año 2020 y publicada en la revista Construction and Building Materials.

<b>TITULO PUBLICACION</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% ADICION</b>	<b>DURABILIDAD</b>
The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings	WBFA	70%	4.5 (g/m <sup>2</sup> *day/kPa)

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 8. Artículo referente a la permeabilidad al vapor*

La Tabla 8 obtenida de la revisión de los artículos recuperados efectivos, arrojó que, en el periodo de estudio, solo hubo una investigación (The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings) realizada en 2018 en el Reino Unido en la cual se evaluó el parámetro de la permeabilidad de vapor de agua con una magnitud de 4.5 (g/m<sup>2</sup>\*day/kPa) y en donde se adicionó WBFA en un 70%.

Las mediciones de la permeabilidad al vapor muestran cuanta resistencia ofrecen los materiales al flujo de agua, por lo tanto, cuanto mayor es la permeabilidad, más fácil es que el agua ingrese en el elemento. Cabe recalcar que un elemento se puede considerar impermeable cuando ofrece una resistencia a la penetración del agua, pero no al vapor del agua.

<b>TITULO PUBLICACION</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% ADICION</b>	<b>DURABILIDAD</b>
Performance of lightweight cement-based and alkali-activated mortars exposed to high-temperature	CFA	50%	0.09 W / m · K

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 9. Artículo referente a la conductividad térmica*

La resultante entre la estructura de silicatos, el aire contenido y la conductividad térmica en un concreto poroso, da como resultado la conductividad total. Es por esto que la conductividad térmica se relaciona con la densidad aparente que, a su vez, puede estar relacionada con la porosidad del elemento el cual es uno de los parámetros relevantes en cuanto a la durabilidad del concreto.

La Tabla 9 obtenida del análisis bibliométrico da cuenta de una única investigación efectiva (Performance of lightweight cement-based and alkali-activated mortars exposed to high-temperature) realizada en Italia en el 2019 y publicada en la revista Construction and Building Materials, en donde lograron una transferencia térmica de  $0.09 \text{ W / m} \cdot \text{K}$  con una inclusión del 50% de CFA.

TITULO PUBLICACION	MATERIAL	% ADICION	DURABILIDAD
Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering	WBFA	25%	Relative shrinkage $((-0.5))(\epsilon_{sh}(t))$

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 10. Artículo referente a la contracción del hormigón*

La contracción del hormigón es un fenómeno físico-químico estrictamente relacionado con el proceso de fraguado y maduración del hormigón, así como con el intercambio de humedad entre el hormigón en maduración o maduro y el entorno. La presión en los poros depende del diámetro capilar, la presión atmosférica (temperatura y humedad del aire). Una vez alcanzado el equilibrio higrotérmico, las partículas de vapor de agua pueden moverse del hormigón al exterior y viceversa. Los cambios resultantes en el estado de humedad generalmente tienen lugar solo en la capa de hormigón cerca de la superficie pudiendo presentarse en esta pequeñas grietas o fisuras que pueden favorecer el ingreso de agentes nocivos para el elemento o el refuerzo del mismo.

La Tabla 10 obtenida de la revisión bibliométrica, muestra solo una investigación efectiva (Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering) realizada en Alemania en el 2018 y publicada en la revista Construction and Building Materials, lograron estimar el cambio de longitud de las muestras a lo largo del tiempo y poder establecer y estimar fisuras en morteros endurecidos dando como resultado una contracción relativa de  $-0.5\epsilon_{sh}(t)$ .

TITULO PUBLICACION	MATERIAL	% ADICION	DURABILIDAD
Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material	PYROLYSED CORK	2.5%	MICROWAVE ANALYSIS 5,7-7,8 (-dB g <sup>-1</sup> cm <sup>3</sup> )

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 11. Artículo referente a la absorción de microondas*

El análisis por microondas es un método que se usa para determinar que materiales tienen la capacidad de proteger y absorber ondas electromagnéticas, evitando así la exposición de las personas a dicha radiación además de garantizar la durabilidad y protección de equipos electrónicos sensibles a este tipo de ondas, como lo son las áreas sensibles de la industria de aviación y aeroespacial, radares del ejército y transporte. De esta forma se generan concretos con adiciones que eviten el paso de las frecuencias de microondas (MW) y que a su vez sean ligeros para generar paneles y recubrimientos a las estructuras.

En la tabla 11 se observa que solo hubo una investigación (Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material) realizada en Portugal en el año 2019, donde se analizó por medio de microondas la durabilidad del concreto. Dicha investigación arrojó una efectividad de apantallamiento y absorción de ondas electromagnéticas de 5.7 dB por cada g-1cm<sup>3</sup> de mezcla cuando se adiciona un 2.5% en peso de corcho que ha tenido un proceso de pirolisis. Debido a que estos materiales son menos densos y más porosos, este concreto con corcho pirolisado es un concreto con menor densidad y mayor porosidad que el concreto convencional, a su vez cumpliendo su función de blindar superficies de las ondas electromagnéticas.

TITULO PUBLICACION	MATERIAL	% ADICION	DURABILIDAD
In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs	PWBFA	70%	leachability (below 400 µg/L)

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 12. Artículo referente a la lixiviación del concreto*

La lixiviación en el concreto ocurre cuando el agua disuelve los componentes de este, como si realizara un lavado. Esto afecta su durabilidad ya que en un concreto poroso, la lixiviación puede llegar a remover hidróxido de calcio lo que reduce la resistencia del concreto. Este componente es más soluble en agua fría por lo que el agua proveniente de las montañas o presas es más agresiva que el agua caliente.

En la tabla 12 se puede observar que la adición de Cenizas volantes de madera [PWBFA] en una proporción del 70 % según un estudio (In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs) realizado en Portugal en el año 2018. Arroja una lixiviación del concreto de 400 µg/L (microgramos / litro) ó ( $1 \times 10^{-6}$  Kg/m<sup>3</sup>), valor el cual se encuentra por debajo de los límites de contaminación en el suelo, es decir, aumenta la densidad del concreto disminuyendo con esto su porosidad evitando que metales pesados de los morteros se drenen y se produzca lixiviación.

Estas heces de licor verde provenientes de la industria de producción de papel Kraft. Se usan como relleno fino que mejora efectivamente la resistencia a compresión de los morteros además de disminuir sus niveles de absorción de agua.

<b>TITULO PUBLICACION</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% ADICION</b>	<b>DURABILIDAD</b>
Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production	PWBFA	10%	54 -77 kΩ cm

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 13. Artículo referente a la resistividad eléctrica*

La resistividad eléctrica es una propiedad que permite relacionar la microestructura del hormigón con la durabilidad de este, ya que el flujo de la corriente eléctrica en un material depende de su distribución e interconexión de poros y su microestructura, por lo tanto, este flujo se ve afectado por la saturación de sus poros. De esta manera si el concreto tiene porosidad alta, tendrá una resistividad eléctrica baja.

La Tabla 13 proveniente de un estudio (Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production) realizado en Canadá en el año 2016 en el cual se agregó un 10% de Cenizas volantes de residuos de la industria del papel [PWBFA], indica que este material aumentó la resistividad eléctrica del concreto a 90 días, por lo tanto pasó a ser concreto más denso y menos poroso, aumentando la durabilidad de este ya que al aumentar su densidad adquiere la capacidad de resistir la penetración de iones cloruro y otros agentes agresivos en mayor medida. (Andrade & D'Andrea, 2011)

<b>TITULO PUBLICACION</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>% ADICION</b>	<b>DURABILIDAD</b>
Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation: A study of strength, radiology and leaching behavior	OBFA	30%	Conductivity 22.2 mS/cm

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 14. Artículo referente a la conductividad eléctrica*

Como se nombró para el caso de la resistividad eléctrica, la conductividad eléctrica es opuesta a esta, por lo tanto, también depende de la microestructura y distribución de poros del concreto para permitir el flujo de electricidad. Por lo tanto, si el concreto tiene mayor conductividad eléctrica quiere decir que tiene una estructura porosa. La conductividad eléctrica del concreto es una propiedad que hasta el momento no se ha usado potencialmente, pero que se viene trabajando para conseguir un hormigón conductor de electricidad de esta manera se puede emplear para evitar la formación de palcas de hielo en infraestructuras como vías, pistas de aterrizaje entre otros.

En la Tabla 14, se observa que el concreto se ve afectado en su conductividad al agregarle cenizas de biomasa y geo polímeros, ya que estos permiten una mayor conductividad eléctrica, según un estudio (Olive biomass ash as an alternative activator in geopolymers formation: A study of strength, radiology and leaching behavior) realizado en España en el año 2019. Arrojando un valor de conductividad eléctrica de 22.2 mS/cm al adicionar un porcentaje del 30 % de Cenizas volantes de residuos de Oliva [OBFA].

TITULO PUBLICACION	MATERIAL	% ADICION	DURABILIDAD
Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application	WBFA	60%	(BET)17.5(m <sup>2</sup> /g)

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 15. Artículo referente al método BET Brunauer-Emmett-Teller (BET)*

El método Brunauer-Emmett-Teller (BET) consiste en la determinación de la superficie específica de un sólido basándose en la adsorción de un gas inerte, permitiendo así hacer la medición sin reaccionar químicamente con la superficie del material. Debido a que se usa un gas que atraviesa el sólido, se pueden caracterizar sólidos porosos de mejor manera que al usar otro método.

El valor alto de área superficial específica de las muestras se relacionó con el tamaño de los poros de estas y la carbonatación dio como resultado la formación de poros de un menor tamaño, por lo tanto, una mayor durabilidad. (S.WSing, 1998)

La Tabla 15 indica una magnitud de 17.5 m<sup>2</sup>/g como resultado del análisis de la prueba BET, esto se traduce en una disminución de la micro porosidad aumentando considerablemente su durabilidad según un estudio (Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application) realizado en Finlandia en el año 2020, donde se usó un 60% de Cenizas volantes de residuos de madera [WBFA] y un 40% de Cenizas de compost. Como dato complementario el carbón, un material bastante poroso, posee una superficie específica de 50 m<sup>2</sup>/g.

## 9 CONCLUSIONES

Este análisis bibliométrico se ha enfocado en temas que están directamente relacionados con la inclusión de materiales provenientes de biomasa al concreto y cómo influyen en su comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión y durabilidad. Por lo tanto, uno de los objetivos de esta investigación es recopilar datos e información sobre materiales provenientes de biomasa para ampliar la información por medio de la investigación o para su posterior aplicación en elementos a base de concreto más ecológicos.

A partir de los datos obtenidos en la revisión se han analizado las ventajas de cada residuo y se obtienen las siguientes conclusiones:

- Las cenizas volantes de biomasa se consideran actualmente un residuo (no un subproducto), según la lista europea de residuos; por lo tanto, estos materiales son una alternativa eco eficiente ya que permiten reducir el impacto ambiental que representa la producción de elementos a base de concreto.
- Los residuos constituyen un potencial de aplicabilidad importante debido a su alta producción y fácil accesibilidad alrededor del mundo y particularmente en Colombia.
- Las mezclas con contenidos de Cenizas volantes de desperdicio de papel [PWBFA], Cenizas volantes de carbón [CFA] y Cenizas volantes de residuos de madera [WBFA] tienen potencial para mejorar la resistencia a la compresión al incorporarse a elementos de concreto.
- Las mezclas con contenidos de Cenizas volantes de desperdicio de papel [PWBFA], Cenizas volantes de residuos de madera [WBFA] mejoran los coeficientes de capilaridad.
- Los compuestos con contenidos de Cenizas volantes de carbón [CFA] mejoran la profundidad de carbonatación y disminuyen la porosidad en comparación con los elementos de referencia.

- Para contrarrestar la pérdida de alcalinidad en mezclas donde se emplean grandes volúmenes de Materiales Cementicios Suplementarios [MSC] es posible adicionar cenizas volantes de biomasa [BFA] en pequeños porcentajes, de esta forma se obtiene un concreto más durable con valores de resistencia similares al concreto convencional teniendo además un mejor desempeño ambiental que un mortero de concreto simple, lo que lleva a una producción de un mortero más ecológico.
- La distribución modal para la resistencia a la compresión es de 24,3 MPa aproximadamente. Lo anterior nos permite inferir la viabilidad del uso de material de biomasa para la formación de compuestos que deriven en concretos de uso estructural.

## 10 RECOMENDACIONES

Los materiales analizados tienen gran potencial como una alternativa eco eficiente. Los resultados arrojados por este trabajo podrían utilizarse para fomentar más investigación a nivel nacional sobre el uso y desarrollo de nuevos compuestos a base de residuos de biomasa como materiales de construcción eficientes.

## 11 ANEXOS

### 11.1 ACCESO A MATRIZ EN LINEA

En el siguiente link se encuentra toda la literatura recuperada de artículos efectivos y no efectivos de los cuales se obtuvieron todos los indicadores del análisis bibliométrico propuesto junto con cada una de las gráficas necesarias.

*[https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/juan\\_concha\\_2016\\_upb\\_edu\\_co/ETmQPC0IQBhDtoMAIz-pCPQBIL7-ki6vcJ3u3JLxuyTikg?e=uHgFy](https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/juan_concha_2016_upb_edu_co/ETmQPC0IQBhDtoMAIz-pCPQBIL7-ki6vcJ3u3JLxuyTikg?e=uHgFy)*

## 11.2 Matriz de información 2015-2020

TÍTULO PUBLICACIÓN	AÑO PUBLICACION	NUMERO DE CITACIONES	PAIS	REVISTA DE PUBLICACION	VOLUMEN	AUTOR 1	INST1	PAIS1	TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJE DE MATERIAL	RESISTENCIA (28d-90d)	DURABILIDAD	SOPORTE
Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash	October 2018	8	Canada	Construction and Building Materials	Volume 186, 20 October 2018, Pages 660-669	Ahmed Omran	Dept. of Civil Eng., Faculty of Engineering, University of Minoufia, Egypt	Egypt	biomass-fly ash (BFA) by-product pulp and paper industry	25%	34 MPA	Chloride-ion permeability 8000 (coulombs)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.084">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.084</a>

*Fuente: Creación propia.*

*URL: [https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x/g/personal/juan\\_concha\\_2016\\_upb\\_edu\\_co/ETmQPC0IQBhDtoMAIz-pCPQBIL7-ki6vcJ3u3JLxuyTikg?e=uHgF](https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x/g/personal/juan_concha_2016_upb_edu_co/ETmQPC0IQBhDtoMAIz-pCPQBIL7-ki6vcJ3u3JLxuyTikg?e=uHgF)*

*Tabla 16. Ejemplo análisis artículo efectivo*

## 12 BIBLIOGRAFIA

- (AAE), A. A. (2008). La situación de la biomasa en Andalucía en enero de 2008.
- . Tangchirapat, T. S. (2007). Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*, 27(1), 81-88.
- 3493, I. N. (2019). *Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, para uso en el concreto*.
- A, M. A. (1987). The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and Fiber Science*. C. , 19(2), p. 165-175.
- A. García-Maraver, M. Z.-R. (2012). Análisis del potencial de biomasa residual del olivar para la generación de energía eléctrica y térmica en Andalucía (España). *Revisiones de energías renovables y sostenibles* , 16.
- ACI. (2000). COMITÉ ACI 201.
- Amigo Olave, M. K., & Palomino Cerrada, J. A. (2009). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CENIZAS VOLANTES OBTENIDAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR COMO SUSTITUCION PARCIAL DEL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE RESISTENCIAS ALTAS*.
- Andrade, C., & D'Andrea, R. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *ALCONPAT*, 1(2), 93-101.
- Apaza Lazo, E. V. (2019). Influencia de la Ceniza de Hoja de Maíz, Cáscara de Cebada y Bagazo de Caña de Azúcar (Materiales Puzolánicos Artificiales), Como Sustitutos Parciales del Cemento en la Resistencia del Concreto Para Diseños:  $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $f'c = 280$ . *Repositorio de tesis UCSM*.
- APPA. (05 de 2020). *Asociacion de Empresas de Energias Renovables*. Obtenido de <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- ARGOS, & SILVA, O. J. (s.f.). ¿CÓMO SE PRODUCE EL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO? *360 en Concreto*.
- ASOCAÑA. (2017). Sector Agroindustrial De La Caña. ASOCAÑA.
- ASOCAÑA. (s.f.). Producción de caña Finagro. ASOCAÑA.
- ASTM International. (2018). Standard Guide for Evaluation of Alternative Supplementary Cementitious Materials (ASCM) for Use in Concrete.

- C, L. A. (1989). Pretreating hardwood for cement-bonded excelsior board. *Forest Products Journal*. 39(10) p. 68-70.
- C.Pullara, R. M. (2019). Pyrolysed cork-geopolymer composites: A novel and sustainable EMI shielding building material. *Construction and Building Materials*, 229.
- Castor, G. G., Vaamonde Liste Antonio, & Barreiro Felpeto, Aldo. (2011). *Tratamiento de datos con R, Estadística y SPSS*. Ediciones Díaz de Santos.
- CEMENTOS ARGOS. (2020). *360enconcreto.com*. (ARGOS) Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/cemento/191cu225les-son-los-tipos-de-cemento-que-hoy-existen-seg250n-la-ntc-121>
- Claudia Patricia Sánchez Henao\*, D. A. (2006). Use of a biological additive to enhance the physical-mechanical and thermal properties of concrete. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*.
- Consejo Oleícola Internacional. (2015). ESTUDIO INTERNACIONAL SOBRE COSTES DE PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA.
- COOSUR. (2019). ¿Cuántos kilos de aceitunas se necesitan para un litro de aceite? págs. <https://www.coosur.com/que-cantidad-de-aceite-se-puede-extraer-de-un-olivo/#:~:text=Una%20joya%20que%2C%20en%20t%C3%A9rminos,corresponde%20a%20su%20contenido%20graso>.
- D'Andrea2, C. A. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad*.
- DANE. (7 de Septiembre de 2020). *DANE Información para todos*. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib\\_const/Bol\\_ieac\\_Iltrim\\_20.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_Iltrim_20.pdf)
- DANE. (2021). Estadísticas de cemento gris. *Boletín Técnico*.
- DePuy, G. (1994). Chemical Resistance of Concrete. *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Material*, 263-281.
- DURAR, C. (1997). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. 117-121.
- E., S. R. (2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido húmedo. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*.
- Fedesarrollo. (enero 2007). *La industria del cemento en Colombia, doc No 33*.
- Felipe Jaime Davila1\*, V. M. (2014). FORMACIÓN DE ETRINGITA TARDÍA EN ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN. *Revista Colombiana de Materiales*(5), 231-237.

- González-Kunz, R. N. (2017). Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts. *Sustainable Cities and Society*, 31, 151-172.
- H. Wang, H. L. (2005). Síntesis y propiedades mecánicas del geopolímero a base de metacaolinita. *Colloids and Surfaces A*, 1-6.
- Heber Martins de Paula, C. F. (2021). Characterization and feasibility of using vegetable biomass ash in mortar. *ALCONPAT*.
- HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO. (s.f.). <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/HIDRATACI%C3%93N%5B1%5D.pdf>.
- J. C. B. Moraesa, J. L. (2017). Utilización de la ceniza de la paja de caña de azúcar (CPC) como puzolana en sustituciones parciales del cemento Portland. *Revista de la Asociación Española de Materiales Compuestos*, 2(1), 6-9.
- Jefferson Garcia FAO. (s.f.). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América latina. *FAO*.
- K., M., & P, M. (1998). Concreto: Estructura, Propiedades y Materiales. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México, 1ª edición*, pp. 33- 40.
- Ketty Lorena Carcamo Gil, L. M. (2013). La retracción del concreto es un cambio de volumen del elemento que puede presentarse tanto en estado fresco o endurecido. Las características de retracción del concreto son un punto de partida importante para el control de la durabilidad de un elemento. . *UPB DIGITAL*.
- KH Mo, U. A. (2016). Hormigón verde parcialmente compuesto por residuos agrícolas: una revisión. *ournal of Cleaner Production*, 122 – 138.
- L., B. A. (Nancy 1, France, 222p., 1994). Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations de l'humidité. *Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré*.
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. *CHATHAM HOUSE*.
- León-Camero, M. J., Camila Solórzano-Muñoz, & Guillermo E. Valencia. (s.f.). *Educación en Ingeniería*. Obtenido de <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/download/922/363/>
- López, S., Sara J. Castellanos Quintero, Maria Magdalena Lopez Rodrigues del Rey, & Juana I. Hernandez Fernandez. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *Revista Científica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos*.

- M. Zain, M. I. (2011). Producción de ceniza de cáscara de arroz para su uso en hormigón como material cementante complementario. *Construcción y materiales de construcción*, 25, 798-805.
- MAKHLLOUFI, e. a. (s.f.). *Effect of quaternary cementitious systems containing limestone, blast furnace slag and natural pozzolan on mechanical behavior of limestone mortars*. p. 648.
- Mario Evelio Arias Zabala. (24 de 05 de 2010). Residuos de aceite de palma: potencial para generar bioetanol. *Agencia de Noticias UN*.
- MILLER D. P., M. A. (1991). Wood-cement composites: Effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength. *Wood and Fiber Science*. p. 472-482.
- Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. *Revista Construcción y Tecnología*.
- MORENO, R. S.-C. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. *SCIELO*.
- Nielsen, Euromonitor Internacional. (25 de 08 de 2018). Negocio del aceite de oliva va al alza, pero aún es muy pequeño. *SEMANA*.
- Nokken, M. B. (2006). Time dependent diffusion in concrete -three laboratory studies. *Cement and Concrete Research*, 1, 200-207.
- OSPINA, M. E., & BRAVO, M. D. (2020). ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CENIZA DE BIOMASA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE. *UNICORDOBA*.
- OSPINA, M. E., & BRAVO, M. D. (2020). ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CENIZA DE BIOMASA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE. *UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA*.
- Otalora, T. A. (2008). El analisis bibliometrico como erramienta para el seguimiento de publicaciones cientificas, tesis y trabajos de grado. *Publicacion Pontificación Universidad Javeriana*.
- P. Chindaprasirt, S. R. (2008). Resistencia a la penetración de cloruros del mortero de cemento Portland mezclado que contiene cenizas de combustible de aceite de palma, cenizas de cáscara de arroz y cenizas volantes. *Materiales de construcción y construcción*, 932-938.
- P. Nkinamubanzi, M. B. (1998). El uso de escoria para la fabricación de hormigón de alto rendimiento. *Sexto seminario internacional OCN sobre cemento y materiales de construcción*.

- P.M. Gopal, N. S. (2018). Paper Industry Wastes and Energy Generation From Wastes. *Woodhead Publishing*, 83-97.
- Peláez, M. W. (2020). Portugal apuesta por regeneración de industria del corcho y su futuro sostenible. *Equal Times*.
- POWER, G. (2018). PIRÓLISIS de la MADERA (destilación seca de la madera). *Green Power*.
- S.P. Raut, R. S. (2012). Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. *Construction and Building Materials*, 27(1), 247-251.
- S.WSing, K. (1998). Adsorption methods for the characterization of porous materials. *Advances in Colloid and Interface Science*, 76–77, 3-11.
- SAC, E. G. (2020). *Normatividad manejo de residuos organicos en Colombia*. Obtenido de <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>
- Samuel Huaquisto Cáceres, G. B. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20.
- Samuel Huaquisto Cáceres<sup>1</sup>, G. B. (2018). Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. *Revista de Investigaciones Altoandinas*.
- Sancho, R. (1990). *Indicadores bibliometricos utilizados en la evaluacion de la ciencia y la tecnologia*. *Evaluacion Bibliometrica*. Revista española de documentacion científica.
- Sistema de informacion ambiental minero energetico. (5 de Noviembre de 2020). *Atlas del potencial energetico de la biomasa residual en colombia*. Recuperado el 1 de diciembre de 2020, de <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>
- Snellings, R. M. (2012). *Supplementary cementitious materials*.
- Solís, R. M. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V*, Vol. 21(3), 57-68.
- Sostenible, A. (2019). El corcho, un material sostenible con múltiples ventajas para la construcción.
- Sutradhar, R., & V.B Reddy Suda. (2020). Experimental investigation on optimization of micronized biomass silica for the strength characteristics of recycled aggregate concrete. *ELSEVIER*.
- Teixera, E., A. Camoes, F.G Branco, J.B Aguilar, & R.Fangueiro. (2020). Recycling of biomass and coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete. *ELSEVIER*.

- todos, D. I. (7 de Septiembre de 2020). *Indicadores económicos alrededor de la construcción (IEAC)*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion>
- Valdés, A. C., Brito, N. D., Mellor, E. G., Hernadez, M. M., & Perez, F. C. (2005). Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, , 36(Especial).
- W. Wongkeo, P. T. (2014). Resistencia a la compresión y resistencia al cloruro del hormigón autocompactante que contiene cenizas volantes de alto nivel y humo de sílice. *Materiales y diseño*, 261-269.