



REFORZAMIENTO DE CONCRETO CON CENIZAS DE BUCHÓN DE AGUA
(*EICHHORNIA CRASSIPES*)

Ronald Yamid Estrada Urazán

598773

Juan Camilo Sánchez Vanegas

321483

Proyecto de grado para optar al título de INGENIERO CIVIL

Asesora: Dery Esmeralda Corredor Pulido

Título académico: Ingeniera Metalúrgica

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá, D.C.

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

JURADO

JURADO

Tabla de contenido

DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
ESTADO DEL ARTE	15
MARCO TEÓRICO	20
Buchón de agua	20
El ensayo de resistencia a la compresión	22
Diseño de Mezcla	25
Esfuerzo vs Deformación	25
Técnica con microscopía electrónica de barrido (SEM)	26
EQUIPOS Y MATERIALES	27
Máquina Universal	27
Vernier	28
Metro	29
Microscopio electrónico de barrido SEM (Zeiss evo HD 15)	30
Cemento	31
Balanza (Pioneer Px)	32
METODOLOGÍA	34
1. Búsqueda y clasificación de información:	34
2. Recolección de plantas y preparación de probetas:	34
3. Diseño de mezcla	38
4. Ensayos mecánicos	39
RESULTADOS	42
ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL	55
DISCUSIÓN:	63

CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	69

Índice de imágenes:

Imagen 1 Buchón de agua.	20
Imagen 2: Esquema de los modelos de fractura típica	24
Imagen 3: Maquina Universal Laboratorio Sede 90 PCIS	28
Imagen 4: Vernier Laboratorio Sede 90 PCIS.....	29
Imagen 5: Metro Laboratorio Sede 90 PCIS	30
Imagen 6: Microscopio electrónico de barrido (SEM) Universidad Javeriana. Zeiss evo HD 15	31
Imagen 7: Cemento de uso general Argos Laboratorio Sede 90 PCIS.....	32
Imagen 8: Balanza Pionner Px Sede 90 PCIS.	33
Imagen 9: Buchones de agua Parque la Florida.	34
Imagen 10: Buchones de agua Laboratorio Sede 90.	35
Imagen 11: Limpieza Buchones de agua.....	35
Imagen 12: Secado Buchones de agua con toallitas absorbentes.	¡Error! Marcador no definido.
Imagen 13: Secado en el horno buchón de agua.	36
Imagen 14: Pesaje de las cenizas de Buchones de agua.	36
Imagen 15: Probetas para la mezcla.	37
Imagen 16: Probetas con la mezcla.	37
Imagen 17:Curado de las probetas.	37
Imagen 18: Cilindros Marcados.	39
Imagen 19: Ensayo a compresión del cilindro.....	39
Imagen 20: Imagen de un Sputter coater comercial y esquema de funcionamiento básico. 40	
Imagen 21: Metalizador Pontificia Universidad Javeriana.....	41
Imagen 22: Cilindro Tipo 3 de falla	50
Imagen 23: Cilindro Tipo 3 de falla	50
Imagen 24: Cilindro Tipo 1 de falla	50
Imagen 25: Cilindros Tipo 3 de falla.....	51
Imagen 26: Cilindros Tipo 3 de falla.....	51
Imagen 27: Cilindros Tipo 3 de falla.....	51
Imagen 28: Cilindro Tipo 2 de falla	51
Imagen 29: Cilindro Tipo 6 de falla	51
Imagen 30: Cilindro Tipo 5 de falla	51
Imagen 31: Cilindro Tipo 2 de falla	52
Imagen 32b Concreto control SE1.	56
Imagen 32a: Concreto Control BSD.....	56
Imagen 33: Etringita - Portlandita – Belita.....	56
Imagen 34a: Muestra control 7 días, Magnitud 2.0 KX.	57
Imagen 34b: Muestra control 7 días, magnitud: 4.0 KX.	57
Imagen 35: Ceniza de hoja de buchón - cristalización y Portlandita.....	57
Imagen 36: Ceniza de hoja de buchón - cristalización y Portlandita. SE1	58
Imagen 37: Espectro de composición química de la muestra.....	59

Imagen 38: Espectro de composición química de la muestra – concreto con ceniza de hoja de buchón 7 días.	60
Imagen 39: Ceniza de hoja de buchón - Etringita	61
Imagen 40: Espectro de composición química de la muestra – concreto con ceniza de hoja de buchón 7 días.	61
Imagen 41: Espectro de composición química de la muestra – concreto con ceniza de hoja de buchón 7 días.	62
Imagen 42: Ceniza de hoja de buchón - Etringita.	62

Índice de tablas.

Tabla 1 Diseños de mezcla por proporciones. Fuente: https://pitboxblog.com/wp-content/uploads/tabla-proporcion-cemento.png	38
Tabla 2. Diseño de mezcla que se mezcló en el laboratorio PCIS 90	38
Tabla 3: Dimensiones de las probetas.	42
Tabla 4: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08 % en MPa.	45
Tabla 5: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.16 en MPa%	47
Tabla 6: Datos mejores resultados obtenidos.	48
Tabla 7: Módulo de Rigidez.	48
Tabla 8: Resultados ensayo a compresión [MPa] Buriticá C. y Barreiro J. (2022).....	52
Tabla 9: Consolidación resultados promedio ensayo a compresión [MPa] Buriticá C. y Barreiro J. (2021).....	53

Índice de gráficas:

Gráfica 1: Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 28 días.....	43
Gráfica 2: Porcentaje de ceniza 0.16 % esfuerzo vs deformación a los 28 días.....	43
Gráfica 3: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%	44
Gráfica 4: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%	46
Gráfica 5: Gráfica mejores resultados obtenidos.....	47
Gráfica 6: Gráfica ensayos a compresión. Buriticá C. y Barreiro J., (2022).....	53
Gráfica 7: Resultados promedio de los ensayos de compresión. Buriticá C. y Barreiro J. (2022)	54

Índice de anexos:

Anexo 1: Certificado RedCOLSI.	69
Anexo 2: Póster Presentación semana de la ingeniería Corporación Universitaria Minuto de Dios 2022.....	71
Anexo 3: Parque la Florida Jacinto de agua	71
Anexo 4: Lavado del jacinto de agua.	72
Anexo 5: Secado del jacinto de agua en toallas absorbentes.....	73
Anexo 6: Cenizas de jacinto de agua.....	74
Anexo 7: Probeta de concreta fallada a compresión.....	74
Anexo 8: Probeta de concreta fallada a compresión 2.....	75
Anexo 9: Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 7 días	75
Anexo 10: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 7 días	76
Anexo 11: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.16% esfuerzo vs deformación a los 7 días	76
Anexo 12: Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 14 días	77
Anexo 13: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 14 días	77
Anexo 14: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.16% esfuerzo vs deformación a los 14 días	78
Anexo 15: Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 28 días	78
Anexo 16: Tabla datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%	79
Anexo 17: Tabla datos del control y del porcentaje de ceniza 0.16%	79

DEDICATORIA

En este momento de gran satisfacción, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por ser mi guía y permitirme alcanzar este significativo logro al culminar mis estudios de pregrado y sumergirme en el apasionante mundo de la ingeniería civil para llevar a cabo la investigación que hoy comparto con ustedes. Quiero dedicar estas palabras de gratitud a mis seres queridos, quienes han sido los pilares fundamentales en el desarrollo de mi formación académica.

A mi amado padre, mi dulce madre, mi atenta tía, mis queridos hermanos y mis entrañables abuelitos, les agradezco profundamente por ser inquebrantables apoyos en este proceso. Siempre creyeron en mí, brindándome su apoyo incondicional y alentándome en los momentos más desafiantes. Su amor y constante respaldo han sido el motor que me impulsó a superar obstáculos y alcanzar este logro.

En este emocionante viaje, he encontrado inspiración y motivación en cada uno de ustedes. Cada desafío fue más llevadero gracias al apoyo sincero de mi familia, quienes compartieron conmigo tanto los momentos de triunfo como los de dificultad. Esta victoria no es solo mía; es el fruto del esfuerzo conjunto y la fe que depositaron en mí a lo largo de estos años.

A medida que reflexiono sobre este logro, no puedo dejar de reconocer a las amistades que se cruzaron en mi camino. A aquellos amigos que estuvieron a mi lado, brindándome aliento y compartiendo risas en los momentos más difíciles, les agradezco sinceramente. Su compañía ha enriquecido mi experiencia y ha hecho que este viaje sea aún más memorable.

Este logro no es simplemente una meta personal alcanzada, sino un testimonio del poder del apoyo, la fe y el esfuerzo colectivo. A todos ustedes, mi familia y amigos, les expreso mi más sincero agradecimiento por haber sido parte esencial de este emocionante viaje de crecimiento y aprendizaje. Cada uno de ustedes ha desempeñado un papel crucial en mi desarrollo, y estoy agradecido por la contribución invaluable de cada persona que ha formado parte de este capítulo tan importante de mi vida.

Ronald Yamid Estrada Urazán.

A mi hija, esposa y padres, que me apoyaron durante este tiempo les dedico este logro, por su amor, por su apoyo durante este proceso, creer en mí. Esa palabra de aliento en los momentos difíciles fue el combustible para seguir enfrentando la adversidad. Por los que quisieron, pero no tuvieron la oportunidad o que ya no nos acompañan.

“No es el conocimiento, sino el acto de aprendizaje, y no la posesión, sino el acto de llegar allí, que concede el mayor disfrute” Carl Friedrich Gauss.

Juan Camilo Sánchez Vanegas.

AGRADECIMIENTOS

En este momento de gran emoción y gratitud, deseamos agradecer a la comunidad educativa de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, una institución que no solo me brindó conocimientos sólidos, sino que también cultivó en nosotros valores fundamentales a lo largo de este tiempo de estudio. El apoyo y la guía que recibimos de esta institución y su dedicado personal docente han sido esenciales para nuestro crecimiento académico y personal.

En cuanto a la culminación de este trabajo de grado, hay un grupo de personas que merecen un agradecimiento especial. En primer lugar, queremos expresar una sincera gratitud a la ingeniera Dery Esmeralda Corredor, quien no solo fungió como asesora de este trabajo de investigación, sino que también lideró el semillero de investigación del que hacemos parte. La ingeniera Corredor no solo es una gran maestra en su campo, sino que también se ha convertido en una compañera invaluable en nuestra Corporación Universitaria. Su orientación, experiencia y apoyo constante han sido determinantes en el desarrollo de este proyecto.

Además, agradecemos a todos los profesores y profesoras que a lo largo del proceso de formación compartieron su sabiduría y conocimientos, contribuyendo a la formación profesional que necesitamos. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en nuestra formación.

El reconocimiento también se extiende a nuestros compañeros y amigos, quienes nos apoyaron, inspiraron y acompañaron en este arduo camino. Nuestras discusiones, debates y colaboraciones enriquecieron la experiencia académica y personal de manera inigualable.

Por último, queremos agradecer a nuestras familias, padres, hermanos y seres queridos, cuyo amor, apoyo incondicional y constante aliento han sido nuestra mayor motivación y fuerza en este viaje académico.

RESUMEN

En esta investigación, se realizó un análisis a probetas de concreto mezcladas con un innovador aditivo: cenizas de buchón de agua, en dos diferentes concentraciones, a saber, 0.08% y 0.16% respecto al peso total de las probetas. Se sometieron a ensayos de compresión siguiendo las directrices de la norma NTC 673. El propósito de este estudio fue comparar la resistencia a compresión de las probetas tratadas con cenizas de buchón de agua en relación con las probetas de control, con el objetivo de evaluar su idoneidad como aditivo en la mezcla de concreto.

Para llevar a cabo esta evaluación, se aplicaron fuerzas de compresión a las probetas con una carga axial de 21 MPa o 3000 PSI. Este procedimiento se realizó con el fin de analizar el comportamiento de las cenizas de buchón de agua como un componente adicional en la formulación del concreto.

Por otra parte, se hizo la caracterización microestructural que permitirá observar el comportamiento de las partículas de la mezcla de concreto con las cenizas de buchón a través del microscopio electrónico de barrido.

Este estudio también tuvo en cuenta aspectos ambientales, destacando la importancia de considerar el impacto ecológico de los aditivos (cenizas de buchón de agua) en las mezclas de concreto, un enfoque fundamental en el contexto actual de sostenibilidad y conservación del entorno.

En resumen, esta investigación no solo contribuye al entendimiento de las posibles aplicaciones de las cenizas de buchón de agua como aditivo en el concreto, sino también subraya la relevancia de considerar factores ambientales en la formulación de mezclas de concreto.

Palabras clave: Cenizas de buchón de agua, diseño de mezcla, probetas, compresión de probetas.

ABSTRACT

In this research, a thorough analysis of concrete specimens enriched with an innovative additive, Water Hyacinth ashes was conducted at two different concentrations, namely, 0.08% and 0.16% relative to the total weight of the specimens. These specimens underwent compression tests following the guidelines of the NTC 673 standard. The purpose of this study was to compare the compression strength of specimens treated with water strider ashes in relation to control specimens, with the aim of evaluating their suitability as an additive in concrete mixtures.

To carry out this evaluation, compression forces were applied to the specimens at an axial load of 21 MPa or 3000 PSI. This procedure was performed to analyze the behavior of Water Hyacinth ashes as an additional component in concrete formulation. The results obtained yielded a relevant conclusion: the incorporation of Water Hyacinth ashes at concentrations of 0.08% and 0.16% is not considered optimal in concrete compression situations, according to the parameters and conditions of the study.

This study, in addition to exploring the compression strength of the specimens, also considered environmental aspects, emphasizing the importance of the ecological impact of additives in concrete mixtures, a fundamental approach in the current context of sustainability and environmental conservation.

In summary, this research not only contributes to the understanding of the potential applications of water strider ashes as an additive in concrete but also underscores the relevance of considering environmental factors in the formulation of concrete mixtures.

Keywords: Water Hyacinth ashes, mix design, specimens, compression strength.

INTRODUCCIÓN

La concienciación y preservación del medio ambiente a nivel mundial se han convertido en una prioridad constante, destacando la necesidad de un uso responsable de los recursos naturales y la reducción de la contaminación. En consonancia con esta preocupación ambiental, se ha identificado un desafío específico en el parque de la Florida, ubicado en Bogotá, donde el buchón o jacinto de agua ha proliferado y se ha reconocido como una planta no deseada.

Para abordar este problema, el presente proyecto se enfoca en la transformación de las hojas de buchón de agua en ceniza, con el propósito de integrarlas al concreto. El concreto, compuesto por cemento, agua y agregados finos y gruesos, desempeña un papel esencial en la edificación y la infraestructura, dada su versatilidad y durabilidad. No obstante, como en cualquier campo de la ingeniería y la construcción, surge la necesidad constante de mejorar sus propiedades y reducir su impacto ambiental.

En este contexto, se ha tomado la decisión de explorar una innovación prometedora: la inclusión de cenizas de buchón de agua en dos proporciones (0,08%, 0,16%) durante intervalos específicos de 3, 7, 14 y 28 días en el proceso de curación del concreto. Esta investigación representa una oportunidad para aprovechar un recurso que, de otra manera, sería desechado o considerado un problema ambiental, estableciendo así un puente entre la necesidad de preservar el entorno natural y la mejora continua en la construcción sostenible.

El buchón de agua, una especie de planta flotante es conocido por su rápida propagación en entornos acuáticos poco profundos, principalmente en regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, su crecimiento descontrolado puede tener efectos negativos significativos en los ecosistemas acuáticos, ya que su densa cobertura en la superficie del agua limita la entrada de luz solar, disminuye el contenido de oxígeno y perturba el equilibrio ecológico. Esto afecta adversamente a la vida acuática, incluyendo la reproducción de peces y otros organismos, y plantea desafíos ambientales importantes. (Guevara y Ramírez, 2015).

Este proyecto no solo busca abordar el problema del buchón de agua, sino también abrir nuevas posibilidades para la construcción sostenible y la gestión responsable de los recursos naturales. La incorporación de cenizas de buchón de agua como un aditivo en el concreto podría contribuir a la reducción de desechos y al uso más eficiente de los recursos.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Examinar el comportamiento del concreto simple al adicionarle cenizas de buchón de agua en proporción de 0,08% y 0,16% mediante ensayos de compresión y microscopía electrónica de barrido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a través de los ensayos de compresión, si la ceniza del Jacinto de agua es apropiada o no como aditivo del concreto, en las proporciones seleccionadas.
- Caracterizar morfológicamente la mezcla de concreto con cenizas de buchón de agua mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para evaluar cambios estructurales en las muestras con y sin adición de ceniza de buchón de agua.
- Establecer visualmente mediante las imágenes proporcionadas por el SEM los cambios en la estructura de las muestras que contengan cenizas de buchón de agua con respecto a la muestra que no se le adicionó.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La problemática del Buchón o Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) como planta invasora en los humedales de Colombia y en diversas partes del mundo plantea un desafío ambiental y ecológico significativo. Esta planta, en la mayoría de los casos, se considera una molestia y se descarta cerca de los humedales, donde suele proliferar. Su crecimiento descontrolado tiene consecuencias negativas para los ecosistemas acuáticos, ya que contribuye a la pérdida de oxígeno en el agua, obstruye la entrada de luz solar y, en última instancia, conduce a la muerte de peces y otras especies acuáticas. Estos efectos adversos ponen en peligro la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos. (Guevara y Ramírez, 2015).

Si el Jacinto de agua mejora las propiedades del concreto, podría representar una solución innovadora, usándolo como aditivo. En la actualidad, la ingeniería civil ha avanzado en la utilización cenizas de plantas vegetales como aditivos para el concreto (Cáceres y Quispe, 2018), con el propósito de mejorar sus capacidades mecánicas. La combinación de cenizas de hoja de Jacinto de agua con el concreto representa una oportunidad interesante para resolver dos problemas interconectados.

La justificación de este proyecto de investigación radica en la necesidad de aprovechar eficientemente un recurso, en este caso, las hojas de Jacinto de agua, que de lo contrario serían desechadas o simplemente descartadas sin un propósito útil. Al incorporar las cenizas de las hojas en la mezcla de concreto, determinará si las propiedades mecánicas de este material de construcción cambian y se contribuiría a reducir la presencia del Jacinto de agua en los humedales, mitigando así su impacto ambiental y ecológico.

Por último, este proyecto se justifica en su potencial para proporcionar una solución integral a un problema ambiental, contribuir a la sostenibilidad en la construcción y fomentar la gestión responsable de los recursos naturales, al mismo tiempo que se promueve la conservación de los ecosistemas acuáticos amenazados por el Jacinto de agua en el humedal del parque La Florida en Bogotá, Colombia.

ESTADO DEL ARTE

Uno de los materiales más usados en la actualidad y desde hace más de un siglo es el concreto, a lo largo de la evolución de la civilización humana ha sido mejorado, combinándolo con materiales vegetales, sintéticos y químicos, a continuación, algunos antecedentes:

De acuerdo con Nistal y Ruiz, 2012, el hormigón es y ha sido uno de los materiales de construcción más utilizados a lo largo de la historia. Durante el Paleolítico y Neolítico se utilizó como material de construcción para muros la mampostería en seco y a pesar de que se intentó conseguir uniones lo más homogéneas posibles este tipo de construcciones multiplicaban la aparición de tensiones lo que conllevaba a la rotura de piedras e incluso al colapso de las construcciones. Más tarde se empezó a rellenar las capas utilizando un mortero que ayudó a repartir las cargas equitativamente previniendo la rotura. A lo largo de la Edad Antigua fueron surgiendo nuevos materiales conglomerantes, por ejemplo, en Mesopotamia se utilizaban breas de petróleo y en Egipto, la cal.

Pero las civilizaciones continuaron mejorando las propiedades del concreto al mejorar los la calidad de los materiales y con la llegada del Imperio Romano, surgió el mejor hormigón creado hasta la fecha, tanto por la calidad constructiva que tenían los romanos como por los materiales utilizados, ya que como conglomerante se empleaba cal y como agregado se utilizaba ceniza de arenas volcánicas o puzolánicas de alta calidad consiguiendo propiedades físicas y mecánicas prácticamente iguales a las actuales (Yepes, 2017). Después de esa etapa, hay un gran parón hasta la Revolución industrial cuando aparece el hormigón armado con acero y cuando surgen figuras ilustres de la ingeniería que empiezan a observar las cualidades de los morteros para determinar cuáles fueron mejores. Es a mediados de la última década del siglo XIX cuando se empezó a realizar trabajos experimentales para determinar algunos valores fundamentales para el cálculo de las estructuras de hormigón, como los coeficientes de elasticidad o la cantidad de refuerzo necesaria. Finalmente, no sería hasta principios del siglo XX cuando se creó una normativa específica para España, siendo uno de los últimos países europeos en tenerla.

Localmente también se adelantaron investigaciones de las propiedades del concreto, esto permitió comprender las características propias de éste como lo afirman Cárdenas, Lizarazo y Chaparro, (2016) “La mezcla ternaria se presenta como una alternativa para evitar fisuras térmicas en concretos masivos debido al calor de hidratación del cemento. Investigaciones anteriores han demostrado que estas mezclas ofrecen un excelente rendimiento a corto y largo plazo en términos de resistencia a compresión y resistencia a ataques de sulfatos. El estudio utiliza cemento Portland Tipo I, ceniza volante Clase F y escoria granulada de alto horno. Se emplean diversas pruebas de laboratorio, como difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, para caracterizar las propiedades mecánicas del concreto. Se resalta la influencia de complejos cambios fisicoquímicos, como la rápida conversión a formas esféricas de las partículas durante la fusión, que afectó la composición y estructura de las cenizas volantes. Los resultados indican que la adición de escoria de alto horno promovió

mayores resistencias a compresión a los 90 días en comparación con la ceniza volante. Se concluyó que ambos materiales coexisten en la matriz del concreto, aportando de manera independiente a las resistencias, y no presentan una interacción significativa en sus propiedades”, de lo descrito anteriormente podemos analizar que usando aditivos como cenizas se pueden obtener mejoras en las propiedades del concreto y corroborarlas en laboratorio con microscopía electrónica de barrido.

Otro caso de análisis realizado por Cáceres y Quispe, 2018, en la Central térmica Ilo-21 del Perú que genera electricidad a base de carbón, la ceniza volante, material contaminante del medio ambiente, se utilizó como adición al cemento para la fabricación del concreto en las diferentes obras civiles, el objetivo de ese estudio fue la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia. El material y método empleados fueron: concreto con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indicaron que a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221kg/cm² para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm², para el 5.0% 231kg/cm², para el 10.0% 200 kg/cm², y 192kg/cm², para el 15% de ceniza volante respectivamente. En este estudio, la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.

Otro estudio hecho por el grupo de investigación de Aizpurua, Moreno y Caballero, 2018, en CITEC de la Universidad Tecnológica de Panamá indicó que el concreto de alta resistencia es uno de los avances más destacados en la industria de la construcción debido a sus múltiples ventajas; sin embargo, también presenta características desfavorables como la fragilidad. Se evaluó el efecto combinado de la adición de caucho y cenizas procedentes de materiales orgánicos al concreto de alta resistencia con el objetivo de mejorar sus propiedades, principalmente la resistencia a compresión y la ductilidad. Estudios previos demuestran que las cenizas de materiales orgánicos contribuyen a aumentar la resistencia a compresión, mientras que el caucho reduce la fragilidad del concreto de alta resistencia. La proporción de cenizas estuvo basada en el peso del cemento, mientras que la dosificación de caucho se hizo con base en el peso total de la mezcla de concreto. La investigación se desarrolló en dos fases; durante la primera de ellas se realizaron pruebas de resistencia a compresión de cilindros de concreto para dos proporciones de ceniza de cáscara de huevo (1.5% y 2.0%), dos proporciones de ceniza de cascarilla de arroz (1.5% y 2.0%), además de la mezcla base para determinar el porcentaje óptimo de ceniza. En la segunda fase, se ensayaron especímenes cilíndricos para determinar la resistencia a compresión, y viguetas para determinar la capacidad de carga a flexión y deformación, para cinco mezclas de concreto con la adición del porcentaje óptimo de ceniza determinado en la fase anterior y la adición de caucho molido en proporciones de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%.

Se llevó a cabo una investigación en la Universidad Cesar Vallejo del Perú, enfocada en el estudio de la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz para el diseño de concreto con una resistencia de $f'c$ 210 kg/cm². La cascarilla de arroz, al igual que muchos productos, suele descartarse sin considerar medidas de seguridad, lo que resulta en la contaminación del suelo,

aire y ríos. El propósito de esta investigación fue reutilizar este material, dándole una nueva aplicación en combinación con el concreto para disminuir el uso de cemento, especialmente en una localidad donde los costos de cemento han experimentado un aumento del 50% debido a la falta de carreteras pavimentadas. La investigación, titulada "Adición de ceniza de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210 kg/cm²" que realizó por Mendoza y Badajos, tuvo como objetivo principal la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en el diseño del concreto f'c 210 kg/cm². La base teórica se fundamenta en la norma E-060 para la verificación de la resistencia del concreto a la compresión. Los resultados obtenidos indicaron que la adición de ceniza de cascarilla de arroz influye positivamente en el diseño de concreto con resistencia f'c 210 kg/cm². Según las conclusiones, se logra reducir el uso de cemento entre un 10% y un 15%. Sin embargo, se observó que la adición del 20% de ceniza de cascarilla de arroz no alcanza la resistencia esperada, como señalan los autores en su estudio de 2018.

El jacinto de agua, una planta acuática invasora en el cinturón tropical ha generado graves impactos sociales, económicos y medioambientales. Aunque su erradicación es difícil, se extrae físicamente para controlarlo a corto plazo. El estudio que realizó por Salas (2019) titulado "El Jacinto de Agua como material de construcción en África Subsahariana", busca aprovechar al máximo sus partes, centrándose en la ceniza de sus raíces como posible adición puzolánica en la construcción. La biomasa generada por esta plaga se acumula en las orillas de los cuerpos de agua y se quema. Se ha explorado su uso como adición puzolánica en cemento, aunque no es competitivo en comparación con otras cenizas. Sin embargo, su capacidad para captar elementos del agua, incluidos contaminantes, sugiere su utilidad como bio-absorbente. Aunque no se ha encontrado evidencia del uso tradicional del jacinto de agua en construcción, se destaca su potencial. Este estudio se centra en la optimización de paneles compuestos basados en el jacinto para mejorar la calidad de las edificaciones de bajo costo en África subsahariana. Se analizaron las propiedades físicas, mecánicas y térmicas, y se proponen paneles que combinan las características térmicas de las partículas más grandes con las propiedades mecánicas de las más pequeñas. El objetivo es reducir los impactos en poblaciones vulnerables. La investigación también abordó la caracterización química del jacinto de agua y las cenizas resultantes. Se observa que las raíces acumulan silicio, lo que sugiere su idoneidad como adición puzolánica. Se resalta la complejidad de la actividad puzolánica y la necesidad de pretratamientos para eliminar álcalis y mejorar la durabilidad de los compuestos. En resumen, el estudio propuso que el jacinto de agua como material de construcción sostenible en contextos subsaharianos, destacando su uso en paneles de falso techo. Se subraya la importancia de la caracterización química y se planteó una metodología para su implementación en la construcción, buscando reducir costos y promover un control sostenible de esta plaga.

Segura y Claramunt (2019) en su artículo "Utilización de fibras naturales para desarrollo de morteros reforzados con fibra" realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos UPC (Barcelona, España) exploraron la utilización de cenizas en morteros reforzados, considerando la necesidad de mitigar desventajas del hormigón convencional, como su impacto ambiental y costo asociado al uso de fibras de acero o sintéticas. Se destaca que, en países en desarrollo, las fibras naturales son una alternativa

asequible y abundante, mientras que en países desarrollados su aceptación aún es limitada. Se enfocaron en la comparación entre fibras vegetales y sintéticas en matrices cementicias, resaltando que las fibras naturales reducen el consumo de materias primas no renovables y presentan propiedades sostenibles.

Además, analizaron las propiedades en estado fresco de morteros con fibras, se evaluó el escurrimiento y la densidad. Se discutió cómo las fibras naturales, como las de celulosa derivada de la madera, pueden provenir de diversas plantas, como el tallo y las hojas de la y el kenaf, con composiciones y propiedades físicas que influyen en la compatibilidad con el hormigón y, por ende, en las propiedades finales del compuesto. Se destacaron las ventajas de usar fibras vegetales en mezclas de concreto, como su bajo peso específico, alta resistencia a la tracción, ductilidad, carácter renovable, amigabilidad al medio ambiente, propiedades térmicas y acústicas, así como su bajo costo. Enfatizando que las fibras naturales son ideales para matrices hidráulicas debido a su naturaleza hidrofílica. En términos de comportamiento en estado fresco, se señaló que la presencia de metacaolín y fibras puede afectar la trabajabilidad del mortero, y la inclusión de aditivos es necesaria para mejorarla. En este estudio también destacó la importancia histórica del uso de fibras, con un enfoque en materiales sostenibles, y cómo la evolución tecnológica ha impulsado la preferencia por fibras sintéticas a pesar de su costo elevado.

La investigación de Nurtanto et al., de 2020 en la Pontificia Universidad Católica de Chile (Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción) comparó la adición de cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de tejas al cemento de geopolímero basado en cenizas volantes con el cemento Portland. El objetivo fue evaluar experimentalmente el comportamiento del tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de ambos tipos de concreto. Se destacó la necesidad de desarrollar alternativas al cemento Portland para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética. La ceniza volante utilizada se clasificó como clase F según ASTM C 618 y se obtiene de desechos de la combustión de carbón en una planta termoeléctrica en Indonesia. Además, se empleó ceniza de tejas obtenida al quemar polvo de tejas. La metodología incluyó la elaboración de pasta de geopolímero, con pruebas de tiempo de fraguado según estándares SNI y pruebas mecánicas de resistencia a la compresión a 1, 3, 7 y 28 días. Se observó que el cemento geopolímero tiene un tiempo de fraguado más corto que el Portland, y la sustitución de cenizas volantes por cenizas de cascarilla de arroz o cenizas de tejas ralentizó el fraguado. La composición óptima del cemento geopolímero a los 28 días se logró con 10% de ceniza volante.

En la Universidad el Señor de Sipán en Perú, Coronel, Altamirano y Muñoz en 2022, investigaron la acumulación global de desechos y la alta emisión de CO₂ en la producción de cemento, que ha generado preocupación por los daños ambientales. En respuesta, se buscó reemplazar parcialmente el cemento con materiales reciclados, como cenizas y fibras, para hacer el concreto más sostenible y reducir el impacto ambiental y económico asociado con su producción. La revisión sistemática de 55 investigaciones sobre concreto ecológico reveló que la adición de cenizas y fibras mejora propiedades como resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad. Se ha demostrado que la utilización de cenizas volantes hasta

un 10% mejora las propiedades del concreto, mientras que un porcentaje mayor tiende a disminuir la resistencia. El estudio también destacó el uso de fibras naturales, como las de plátano y aserrín, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Además, se señaló que la incorporación de agregados reciclados en la fabricación de bloques ecológicos es sostenible y económica. En cuanto a la ceniza de cáscara de arroz, se identificó que un 10% de su contenido óptimo en cemento proporcionó una resistencia significativa. Asimismo, se examinaron otros materiales, como la fibra de bagazo de caña, acero, vidrio y plástico, con porcentajes específicos que mejoran la resistencia del concreto.

En resumen, la utilización de materiales reciclados y naturales en la producción de concreto emerge como una alternativa prometedora para mitigar los problemas ambientales y económicos asociados con la industria de la construcción.

MARCO TEÓRICO

Buchón de agua

El "buchón o jacinto de agua", científicamente conocido como (*Eichhornia Crassipes*), es una planta acuática originaria de la cuenca amazónica que, a lo largo de los años, ha ganado notoriedad como una de las especies invasoras más peligrosas en el mundo debido a su rápida propagación y a su capacidad para alterar significativamente los ecosistemas acuáticos en los que se establece.

El buchón de agua se reproduce de manera vegetativa, lo que significa que puede crecer a partir de fragmentos de la planta principal. Esto facilita su propagación y colonización de cuerpos de agua de manera eficiente. (Rodríguez y Colmenares, 2021)

El buchón o jacinto de agua, es una planta acuática originaria de la cuenca amazónica, incluida dentro de las 100 especies invasoras más peligrosas del mundo; en Colombia, está categorizada como especie de alto riesgo. CorpoBoyacá. (s.f.)

En la Imagen 1, se observan algunas plantas de jacinto de agua recién sacadas del humedal parque la Florida en la localidad de Engativá, Bogotá



Imagen 1 Buchón de agua.

La integración de cenizas derivadas del buchón de agua en la composición del concreto representa un enfoque vanguardista que busca realzar no solo la resistencia mecánica del material sino también abordar cuestiones medioambientales en la construcción civil

La puzolanidad de las cenizas de buchón de agua emerge como un factor clave en su capacidad para mejorar el concreto. La presencia de sílice amorfo permite una reacción beneficiosa con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento Portland. (Osorio, 2022). Esta reacción conduce a la formación de compuestos adicionales, como el gel de sílice, mejorando tanto la resistencia mecánica como la durabilidad a largo plazo del concreto.

Otro beneficio notable radica en la capacidad de las cenizas para reducir la permeabilidad del concreto. La formación de compuestos gelificados durante la mezcla contribuye a llenar los poros, reduciendo así la entrada de agua y mejorando la resistencia a la corrosión de las armaduras de refuerzo. (Cáceres y Quispe, 2018). En infraestructura vial, puentes, presas o puertos donde las condiciones debido a los sulfatos y cloruros, la disminución de la permeabilidad aumentaría la durabilidad y el deterioro de la pasta del concreto.

La inclusión de cenizas de buchón de agua en el concreto no solo aporta mejoras técnicas, sino que también subraya la importancia de prácticas constructivas sostenibles. La utilización en la producción de materiales de construcción no solo minimiza la dependencia de recursos convencionales, sino que también aborda preocupaciones ambientales relacionadas con la gestión de residuos agrícolas.

Se requiere estudios de dosificación exhaustivos, estos estudios son esenciales para determinar la cantidad precisa de cenizas de buchón de agua que se puede incorporar a la mezcla sin comprometer las propiedades deseadas del concreto. Un proceso de dosificación adecuado garantiza un equilibrio óptimo entre las cenizas y los demás componentes de la mezcla, logrando así resultados superiores en términos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto.

La sostenibilidad se enfatiza aún más en la medida en que se reconoce el papel de la ingeniería civil en la adopción de enfoques ambientalmente responsables. La utilización no solo disminuye la cantidad de desechos, sino que también contribuye a un ciclo de vida más sostenible para los materiales de construcción.

La efectividad se evalúa mediante caracterización que permite determinar las propiedades mecánicas del nuevo material. Los ensayos de resistencia a la compresión ofrecen una comprensión detallada de cómo las cenizas de buchón de agua afectan la capacidad del concreto para soportar cargas y estos resultados se complementan con el análisis microestructural, la microscopía electrónica de barrido (SEM), que brinda una visión detallada de la distribución de las cenizas en la matriz del concreto.

Adicionalmente, técnicas como la difracción de rayos X (XRD) se emplean para identificar y cuantificar las fases cristalinas presentes en la mezcla. Este análisis es esencial para comprender cómo la reacción puzolánica afecta la formación de nuevos compuestos, lo que impacta directamente en las propiedades mecánicas y estructurales del concreto.

En resumen, la técnica de reforzamiento del concreto mediante la adición de cenizas de buchón de agua se erige como un enfoque integral y sostenible. Además de las mejoras en las propiedades mecánicas, la reducción de la permeabilidad y la resistencia a la corrosión hacen de esta práctica una opción prometedora en la ingeniería civil de esta innovadora aproximación en el diseño y construcción de estructuras de concreto.

En conclusión, la investigación y aplicación de cenizas de buchón de agua en la ingeniería civil representan un avance significativo en la búsqueda de materiales de construcción más resistentes y sostenibles. Este enfoque no solo destaca el potencial técnico de la ceniza, sino que también enfatiza la necesidad de integrar prácticas constructivas que respeten el medio ambiente y promuevan la sostenibilidad en la industria de la construcción.

El ensayo de resistencia a la compresión

Este método de ensayo se caracteriza por su aplicabilidad a especímenes cilíndricos de concreto con la adición de cenizas de buchón de agua, buscando mejorar las propiedades estructurales y medioambientales del material.

En consonancia con las normativas, el procedimiento del ensayo inicia con la preparación de los especímenes. La dosificación precisa de materiales, la mezcla homogénea y el moldeado de cilindros se realizan de acuerdo con los estándares establecidos, asegurando así la representatividad de los resultados. La adición de cenizas de buchón de agua se integra en este proceso, cumpliendo con las mejores prácticas de la ingeniería civil.

La Norma Técnica Colombiana NTC 673, titulada "Concreto: Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto," es una guía fundamental en la ingeniería civil para la evaluación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Este documento normativo tiene como objetivo establecer procedimientos y condiciones detalladas para la realización de ensayos que determinen la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Su alcance abarca la preparación de especímenes, las condiciones de ensayo, el cálculo de resultados y la presentación de informes, proporcionando una estructura completa para la ejecución y documentación de estos ensayos críticos.

La NTC 673 detalla procedimientos específicos para la preparación de los especímenes, abarcando aspectos cruciales como la dosificación de materiales, la mezcla homogénea, el moldeado de cilindros y el curado. Además, establece requisitos específicos para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión, definiendo la velocidad de carga y otros parámetros esenciales que aseguran la consistencia y comparabilidad de los resultados obtenidos.

En consideración de la influencia que las condiciones ambientales pueden tener en los resultados de los ensayos, la norma aborda las condiciones bajo las cuales deben llevarse a cabo las pruebas, asegurando la realización de los ensayos en entornos controlados para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos.

La NTC 673 también establece periodos recomendados para la realización de los ensayos, considerando la edad de los especímenes. Este enfoque permite comprender la evolución de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo, facilitando una evaluación más completa de su comportamiento y desempeño.

Además, la norma ofrece directrices claras para el cálculo e interpretación de los resultados obtenidos durante los ensayos de resistencia a la compresión. Esto incluye la determinación de la carga máxima, la resistencia específica y otros parámetros críticos que permiten evaluar de manera integral la calidad del concreto y su capacidad estructural.

En resumen, la NTC 673 desempeña un papel esencial al proporcionar estándares y criterios para la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto en cilindros. Al adherirse a las pautas establecidas por esta norma, se garantiza la coherencia y confiabilidad de los resultados, sentando las bases para la investigación y desarrollo de prácticas constructivas eficientes y seguras en el ámbito de la ingeniería civil.

La Norma Técnica Colombiana NTC 550, bajo el título "Concreto: Requisitos generales para la fabricación y el control de calidad," se erige como un componente esencial en el entorno de la ingeniería civil colombiana. Su principal objetivo es proporcionar un marco normativo integral que asegure la calidad y consistencia en la producción del concreto. El alcance de esta norma abarca desde la selección de materias primas hasta la entrega del producto final, estableciendo criterios técnicos y de rendimiento para cada fase del proceso.

Una de las facetas críticas que aborda la NTC 550 es la selección de materiales. La norma establece criterios rigurosos para cemento, agregados, agua y aditivos, garantizando que cada componente cumpla con estándares de calidad y propiedades técnicas necesarias para la fabricación de concreto de alto rendimiento.

Otro aspecto clave abordado por la norma es la determinación de las proporciones de mezcla. Proporciona pautas claras para ajustar estas proporciones, considerando las características específicas del proyecto y los requisitos de resistencia y durabilidad del concreto, lo que resulta esencial para obtener un concreto con las propiedades deseadas.

El proceso de fabricación también está detalladamente contemplado en la NTC 550. Desde la mezcla de materiales hasta los métodos de curado, la norma define condiciones específicas de temperatura, tiempo y manipulación durante el fraguado y endurecimiento del concreto, asegurando así que el producto final cumpla con las características requeridas.

En el ámbito del control de calidad, la norma establece un sistema riguroso. Detalla procedimientos de muestreo y ensayos para verificar que el concreto cumpla con los requisitos establecidos, proporcionando una garantía de calidad integral desde la etapa de producción hasta su implementación en la obra.

Además, la NTC 550 establece requisitos para la recepción y aceptación del concreto en el lugar de la obra. Define los procedimientos de inspección y pruebas que deben llevarse a cabo para asegurar que el concreto suministrado cumpla con los estándares especificados, consolidando así su contribución integral a la calidad en la industria de la construcción en Colombia.

La caracterización de materiales, se busca entender las propiedades físicas y químicas que definen a un material. Para lograr esto, se aplican diversas técnicas que abarcan análisis físicos, mecánicos y estructurales. Estas técnicas permiten identificar y analizar las posibles fallas presentes en un espécimen de concreto. La norma NTC 550 proporciona pautas específicas para evaluar la calidad del material en función del tipo de falla observado en la imagen 2. En resumen, la caracterización de materiales implica el uso de métodos variados para comprender y evaluar las propiedades y defectos de un material, y la norma NTC 550 guía este proceso, especialmente en el contexto de especímenes de concreto.

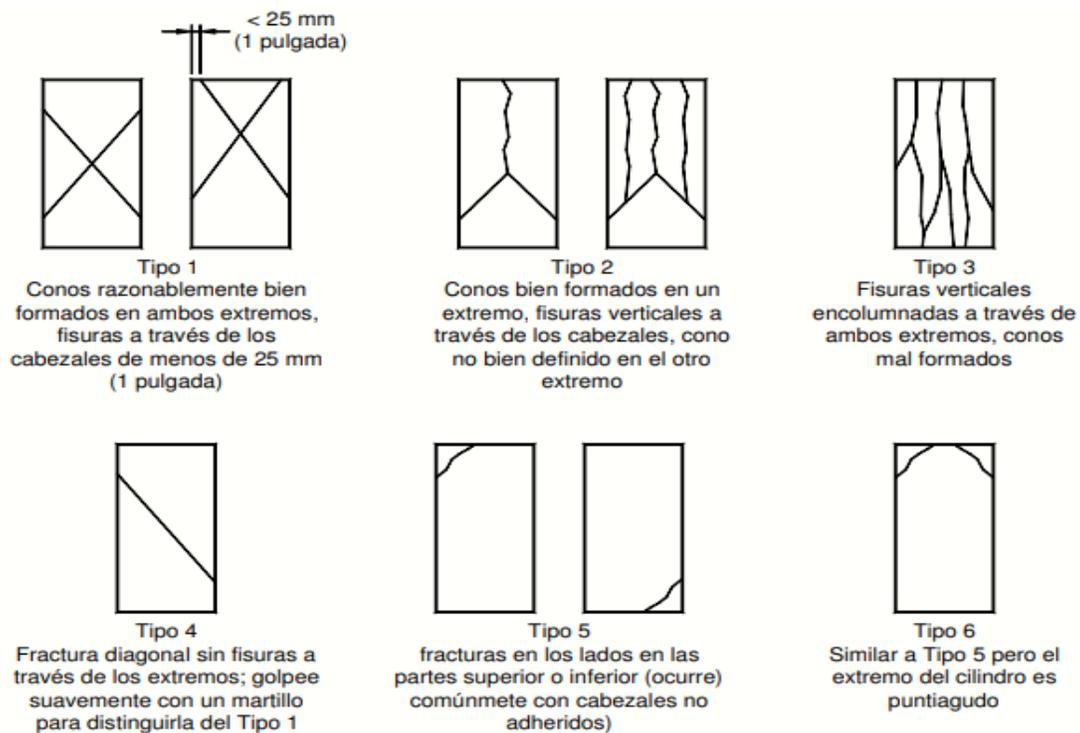


Imagen 2: Esquema de los modelos de fractura típica

Fuente: *ASTM Internacional ha autorizado la traducción de esta norma, pero no se responsabiliza por la exactitud técnica o lingüística de la traducción (conred.gob.gt)*

Diseño de Mezcla

El diseño de mezclas es el proceso de selección de los materiales y sus proporciones para la producción del concreto según los requerimientos de resistencia, costos, peso, durabilidad y apariencia de acabados.

En cuanto a cantidades y proporciones, ASOCRETO (2011) afirma que el cemento ocupa entre un 7% y 15% del volumen de la mezcla, proveyendo eficientemente propiedades de adherencia y cohesión; asimismo, los agregados, esencialmente grava y arena, ocupan entre el 59% y 76% del volumen. El agua, necesaria para la hidratación del cemento ocupa entre el 14% y 18% del volumen; y, por último, el aire atrapado en las mezclas varía entre el 1% y 3%. El Instituto Americano del Concreto, ACI por sus siglas en inglés, a través de la norma ACI 211.1 describe dos métodos para seleccionar y ajustar las proporciones para concreto de peso y masa normal. El primer método se basa en un peso estimado de concreto por unidad de volumen; el segundo se basa en los cálculos de volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto. Los procedimientos consideran requisitos como manejabilidad, consistencia, resistencia y durabilidad. (Cordero, Cárdenas y Rojas, 2019)

Es imperativo tener un conocimiento profundo de los principios fundamentales que rigen un diseño de mezcla eficiente. Esto implica comprender los cálculos utilizados para establecer la proporcionalidad adecuada de los componentes de la mezcla. Se destaca que las especificaciones previamente mencionadas pueden lograrse en la construcción del concreto mediante la selección cuidadosa de materiales y características de mezcla. La eficacia en el diseño de mezcla, por lo tanto, radica en la capacidad de armonizar los distintos elementos para alcanzar un concreto que no solo cumpla con los estándares requeridos, sino que también optimice la eficiencia y sostenibilidad en proyectos de ingeniería civil.

Esfuerzo vs Deformación

Uno de los aspectos clave que permite la curva es identificar el punto de ruptura o de cedencia, que representa el esfuerzo máximo alcanzado por el material antes de la fractura. Esta información es crucial para el diseño de estructuras y la toma de decisiones en ingeniería.

Además, la curva de esfuerzo-deformación facilita la comparación directa entre diferentes materiales o mezclas. Esto es especialmente útil al seleccionar el material más adecuado para una aplicación particular, optimizando así la selección de materiales para garantizar la durabilidad y seguridad de las estructuras.

La utilidad de esta curva también se extiende al control de calidad, donde se emplea para garantizar que los materiales cumplan con los estándares especificados y para evaluar la uniformidad de los lotes de producción. Asimismo, proporciona información valiosa para la predicción de fallas, permitiendo entender cómo y cuándo un material experimentará una falla y contribuyendo a la predicción de la vida útil de una estructura. En resumen, la curva

de esfuerzo-deformación es una herramienta esencial en la ingeniería y la ciencia de materiales, brindando datos valiosos para la toma de decisiones en el diseño, evaluación y selección de materiales en diversas aplicaciones.

Técnica con microscopía electrónica de barrido (SEM)

La técnica SEM, o microscopía electrónica de barrido (por sus siglas en inglés, Scanning Electron Microscopy), es una herramienta avanzada de microscopía que utiliza electrones en lugar de luz para obtener imágenes detalladas de la superficie de muestras tridimensionales a escalas micro y nanométricas.

Este tipo de microscopio electrónico funciona con los mismos principios electrónicos del M.E de transmisión: una fuente generadora de electrones, campos electromagnéticos que actúan como “lentes” concentradoras (3) de los haces de electrones o como ampliadoras de imágenes. La diferencia estriba en que los electrones no atraviesan el espécimen para formar las imágenes. Los electrones se aceleran y concentran hasta formar un haz sumamente delgado de más o menos 5 nm de diámetro que rastrea o “barre” la superficie de la muestra. Los electrones son reflejados por los componentes de esta o al chocar con ellos generan electrones secundarios. En ambos casos los electrones se envían e inciden en la superficie de un detector localizado en las cercanías de la muestra. Este aditamento está conectado a un amplificador que envía señales en forma de rayos catódicos a la pantalla de un monitor de televisión. Para registrar la imagen formada se utiliza una cámara fotográfica. El M.E de barrido, ofrece imágenes con una resolución que alcanzan de 10 a 20 nm. El aumento efectivo es de 15,000 a 50,000 diámetros. Otra ventaja de este microscopio es que forma imágenes con una gran profundidad de foco; de aproximadamente 500 veces que la del microscopio fotónico. Esta propiedad le confiere a la imagen su aspecto tridimensional. Montalvo, (2010).

EQUIPOS Y MATERIALES

Máquina Universal

La máquina universal de ensayo es un dispositivo fundamental en la investigación y el desarrollo de materiales, así como en la evaluación de la calidad de productos en diversas industrias. Su función principal radica en la comprobación y medición de la resistencia de productos o materiales sometidos a tensiones controladas. Esta herramienta se compone de un sistema de servocontrol que aplica cargas de manera controlada sobre una probeta, que generalmente sigue un modelo de dimensiones preestablecidas.

El proceso de ensayo con una máquina universal implica la aplicación gradual de una fuerza o carga sobre la muestra de material, lo que permite medir su comportamiento bajo distintos niveles de estrés. Durante el ensayo, la máquina registra de manera continua la deformación experimentada por la muestra, al mismo tiempo que mide la carga aplicada. Esto se lleva a cabo hasta que la muestra alcanza el punto de rotura, permitiendo así obtener datos precisos sobre la resistencia del material, su capacidad para soportar cargas y su comportamiento ante el estrés.

La información recopilada en forma gráfica durante el ensayo se presenta generalmente en un gráfico de carga versus deformación, lo que proporciona una visión clara del comportamiento del material bajo distintas condiciones de carga. Estos datos son esenciales en la investigación, el desarrollo y el control de calidad de materiales y productos en campos tan diversos como la ingeniería, la metalurgia, la construcción, la fabricación de materiales compuestos y muchas otras disciplinas.

El uso de la máquina universal de ensayo en investigaciones y ensayos de laboratorio es crucial para evaluar las propiedades mecánicas y la durabilidad de materiales y productos, lo que contribuye de manera significativa al avance y la innovación en diversas áreas industriales, se puede observar en la imagen 3, donde ya se realiza un ensayo a compresión con el cilindro de concreto en el Parque Científico de Innovación Social (PCIS).



Imagen 3: Maquina Universal Laboratorio Sede 90 PCIS

Vernier

El vernier, comúnmente conocido como pie de rey, es un instrumento de medición lineal que ha sido utilizado con alta precisión desde el siglo XVII. Su diseño consta de dos partes fundamentales: una parte fija y una parte móvil, ambas colaborando para proporcionar mediciones precisas de longitud.

La parte fija del vernier consiste en una regla, que puede venir equipada con dos sistemas métricos: el sistema internacional en centímetros (cm) y el sistema inglés en pulgadas. Esta regla proporciona una referencia inicial para la medición.

La parte móvil del vernier es una escala deslizante que se desplaza a lo largo de la regla fija. Esta escala móvil contiene una serie de divisiones que permiten una medición extremadamente precisa de la longitud de un objeto. Al comparar la posición de la escala móvil con la escala fija, es posible determinar la longitud del objeto con una alta precisión.

El vernier es ampliamente utilizado en diversas disciplinas, como la ingeniería, la metalurgia, la manufactura, la carpintería y muchas otras, donde la precisión en las mediciones es esencial. Su capacidad para medir con gran exactitud la longitud de objetos lo convierte en una herramienta indispensable en la investigación y en la producción industrial.

En la imagen 4 lo utilizamos para medir el diámetro de los cilindros de concreto



Imagen 4: Vernier Laboratorio Sede 90 PCIS

Metro

El metro, como instrumento de medición, es una herramienta esencial en la ciencia y la ingeniería, utilizada para medir longitudes con precisión. Este instrumento se compone típicamente de una regla o una cinta graduada que generalmente tiene una longitud de un metro o más. La regla o cinta está marcada con divisiones en diferentes unidades de medida, lo que facilita la determinación precisa de las longitudes.

Las divisiones más comunes que se encuentran en un metro son decímetros, centímetros y milímetros, lo que permite medir con detalle y precisión a lo largo de su longitud. Además, algunos metros pueden incluir otras unidades de medida, como pulgadas o pies, para satisfacer las necesidades específicas de diferentes aplicaciones.

El metro es ampliamente utilizado en una variedad de campos, desde la construcción y la arquitectura hasta la fabricación y la investigación científica. Su versatilidad y capacidad para proporcionar mediciones precisas hacen que sea una herramienta esencial en prácticamente cualquier disciplina que requiera mediciones de longitud.

En la imagen 5 lo utilizamos para medir la longitud de los cilindros de concreto



Imagen 5: Metro Laboratorio Sede 90 PCIS

Microscopio electrónico de barrido SEM (Zeiss evo HD 15)

Un microscopio electrónico de barrido (MEB) es una herramienta avanzada de visualización que utiliza haces de electrones en lugar de luz visible para generar imágenes de alta resolución de muestras. A diferencia de los microscopios ópticos convencionales, el MEB ofrece una mayor capacidad de ampliación y permite observar estructuras a una escala mucho menor.

En el MEB, un haz de electrones se enfoca y se dirige hacia la muestra. Cuando los electrones interactúan con la superficie de la muestra, se generan diferentes señales, como electrones retro dispersados, electrones secundarios y rayos X característicos. Estas señales son detectadas y utilizadas para crear imágenes detalladas de la superficie y de los elementos que componen la muestra.

El resultado es la obtención de imágenes tridimensionales de alta resolución que permiten a los científicos e investigadores explorar la morfología y características de las muestras a nivel microscópico. El microscopio electrónico de barrido es esencial en diversas áreas, como la investigación en nanotecnología, ciencias de materiales, biología celular y otras disciplinas científicas. (Montalvo, 2010)

De los datos suministrados por el (MEB) que están en la parte inferior de cada imagen usamos básicamente: la señal que nos dice qué detector se usa para generar la imagen, el voltaje en que se proyecta el haz de electrones en el caso de la imagen es 10.0 kV cuando aumentamos en la magnitud de la ampliación, el equipo ZEISS que usamos sube hasta máximo 30kV, la magnificación que en ambas imágenes es de 200x (200 veces), la escala que nos muestra un patrón de medida para comparar tamaños en la imagen en ambos casos la escala es de 10 μm (micrómetros), con estas características que tiene cada imagen en la parte inferior, se hace una descripción de lo que se observa, en el caso será las fases que encontremos de la reacción del concreto con las cenizas de buchón de agua.



Imagen 6: Microscopio electrónico de barrido (SEM). Pontificia Universidad Javeriana. Zeiss evo HD 15.

Cemento

El cemento, un componente esencial en la industria de la construcción, desempeña un papel fundamental en la creación de hormigón y mortero. Producido mediante la mezcla y calcinación de caliza y arcilla, este material se presenta en diversos tipos, como el cemento Portland y el cemento Portland compuesto, cada uno con propiedades específicas adaptadas a distintas aplicaciones constructivas. Las propiedades físicas y químicas del cemento, como resistencia a la compresión, durabilidad y reactividad química son cruciales al seleccionar el tipo de cemento para proyectos particulares. Su aplicación en la construcción de estructuras civiles, como edificios, puentes, carreteras y sistemas de alcantarillado, como aglomerante en concreto y mortero, garantiza la estabilidad y durabilidad de estas obras. Sin embargo, la industria del cemento enfrenta desafíos actuales relacionados con la sostenibilidad y el medio ambiente, promoviendo la búsqueda de alternativas más respetuosas, como el desarrollo de cemento con bajas emisiones de carbono y el fomento del reciclaje de materiales. El impacto ambiental de la producción y uso del cemento, incluidas las emisiones de carbono, ha llevado a la implementación de medidas para reducir la huella de carbono de esta industria. Además, existen regulaciones y normativas que influyen en la calidad y seguridad de las estructuras construidas con este material, abordando aspectos clave de su producción y aplicación. En la imagen 7 destacamos el cemento para la realización de la mezcla y de los cilindros de concreto.



Imagen 7: Cemento de uso general Argos Laboratorio Sede 90 PCIS.

Balanza (Pioneer Px)

La elección de la herramienta adecuada para el pesaje de materiales es fundamental en cualquier investigación científica, especialmente en un estudio que implica el análisis de propiedades del concreto y la evaluación de la influencia de aditivos como las cenizas de hoja de jacinto de agua. En este sentido, se ha empleado una balanza de precisión de la serie Pioneer PX, que combina características esenciales de pesaje con un rendimiento competitivo.

Características de la Balanza Pioneer Px:

Alta precisión y repetibilidad: la Pioneer Px se destaca por su capacidad para proporcionar mediciones precisas y repetibles. Esta cualidad es esencial al realizar pruebas de resistencia a la compresión, ya que incluso pequeñas variaciones en el pesaje pueden influir en los resultados finales.

En la imagen 8 utilizamos la balanza Pioneer Px para tomar los datos del pesaje de las cenizas de buchón de agua.



Imagen 8: Balanza Pionner Px Sede 90 PCIS.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada para el desarrollo de este proyecto se divide en cuatro etapas fundamentales, donde cada una contribuye al logro de los objetivos de investigación. Estas etapas son:

1. Búsqueda y clasificación de información:

En esta fase inicial, se realiza una búsqueda y clasificación de información relacionada con el tema de investigación. Se emplean las bases de datos disponibles en la Universidad para localizar artículos de investigación, documentos bibliográficos y artículos científicos tanto en español como en inglés. Esta revisión bibliográfica proporciona una base de conocimientos y antecedentes relacionados con el proyecto.

2. Recolección de plantas y preparación de probetas:

En la siguiente etapa del proceso, con el permiso respectivo se lleva a cabo la recolección de muestras de plantas de Jacinto de agua en el humedal parque de la Florida en Bogotá (imagen 9).



Imagen 9: Buchones de agua Parque la Florida.

Estas muestras son sometidas a un proceso de preparación en el laboratorio. Las hojas se extraen de la planta se limpian a fondo, se lavan con abundante agua para eliminar los residuos (imagen 10-11)



Imagen 10: Buchones de agua Laboratorio PCIS Sede 90.



Imagen 11: Limpieza Buchones de agua.

En seguida las hojas de Jacinto se secan con toallas absorbentes (imagen 12)

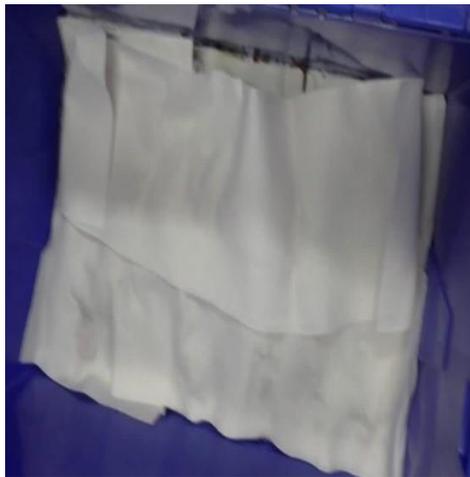


Imagen 12: Secado Buchones de agua con toallitas absorbentes

Luego se hace el proceso de secado en el laboratorio, las hojas se cortan y se secan en un horno a 200°C (imagen 13) durante un día, luego de este paso quedan en forma de cenizas. No se puede determinar la consistencia (en cuanto a composición química) de las cenizas de buchón de agua porque las plantas absorben todos los elementos presentes en el humedal, por lo tanto, así se obtengan las plantas del mismo lugar, no es posible controlar lo que absorben las plantas y por lo tanto su composición.



Imagen 13: Secado en el horno buchón de agua.

La preparación de probetas sigue las directrices de la norma NTC 550, con el pesaje de los materiales (imagen 14),

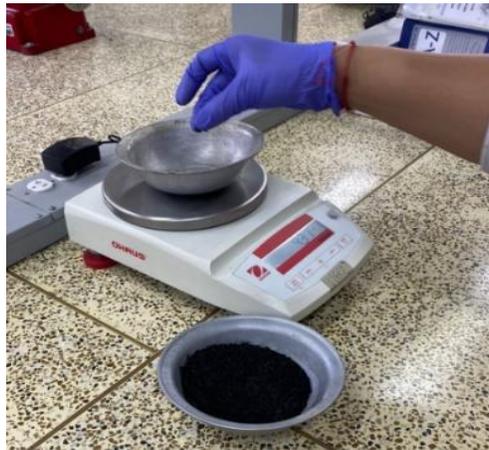


Imagen 14: Pesaje de las cenizas de Buchones de agua.

Usando el diseño de mezcla escogido se hace la integración de los componentes, uniformemente para formar la mezcla de concreto y el vertido de la mezcla en moldes específicos, siguiendo los parámetros de la norma NTC 454 (imagen 15-16).



Imagen 15: Probetas para la mezcla.



Imagen 16: Probetas con la mezcla.

El proceso de mezcla implica la adición gradual de las cenizas de jacinto de agua y golpes controlados con una varilla. Cada día, se fabrican cinco probetas, que incluyen una de control y dos con cenizas de jacinto de agua. Posteriormente, las probetas se someten a un proceso de curado (Imagen17) durante 3, 7, 14 y 28 días antes de proceder a los ensayos mecánicos.



Imagen 17: Curado de las probetas.

Se realizan 4 probetas por día, 2 de control y 2 con las cenizas del buchón de agua, uno para cada porcentaje de ceniza de buchón agregado 0,08 y 0,16%. Se realiza el curado en los laboratorios del PCIS Cl. 90 donde estarán por 3,7,14 y 28 días donde permanecerán hasta los ensayos mecánicos a compresión.

3. Diseño de mezcla

Tabla 1. Diseños de mezcla por proporciones.

Cantidades de materiales por cada m ³ de concreto							
Proporción	Cemento		Arena	Grava	Resistencia a la compresión a los 28 días		
	Kilos	Sacos de 42.5 kg	(m ³)	(m ³)	kg/cm ²		p.s.i
1:2:2	420	10	0,670	0,670	214	260	3000 3640
1:2:2 1/2	380	9	0,600	0,760	214	260	3000 3640
1:2:3 1/4	350	8,2	0,555	0,835	186	241	2600 3380
1:2:3 1/2	320	7,5	0,515	0,900	191	241	2680 3380
1:2:3	300	7	0,475	0,950	180	240	2520 3360
1:3:3 1/2	300	7	0,715	0,715	150	143	2100 2000
1:3:4	260	6,1	0,625	0,835	140	180	1960 2520
1:3:5	230	5,4	0,555	0,920	110	139	1540 1950
1:3:6	210	5	0,500	1,000	100	130	1400 1820
1:4:7	175	4,1	0,555	0,975	80	110	1120 1540
1:4:8	160	3,8	0,515	1,026	70	100	980 1400
1:2 1/2:4 1/4	260	6,1	0,520	0,940	170	230	2380 3220

Fuente: <https://pitboxblog.com/wp-content/uploads/tabla-proporcion-cemento.png>

Se usó un diseño de mezcla 1:2:2 que se determina usando la proporción de los agregados según la cantidad de cemento así: para cada unidad kg de cemento la proporción de grava es de 2 kg y de arena es de 2 kg. Según la tabla 1 se tendrá una resistencia de entre 214 a 210 kg/cm² o 3000 a 3640 psi.

Tabla 1. Diseño de mezcla que se mezcló en el laboratorio PCIS 90

CRITERIO	Cilindro con cenizas de buchón de agua		
	Para un porcentaje de 0,08%	Para un porcentaje de 0,16%	Cilindro sin ceniza de buchón de agua (control)
Volumen del cilindro a utilizar	0.892 ft ³	0.892 ft ³	0.892 ft ³
Resistencia de diseño del concreto	3000 PSI	3000 PSI	3000 PSI
Cemento	920 g	920 g	920 g
Arena que pasa el tamiz No 4	1800 g	1800 g	1800 g
Grava que no pasa el tamiz No 4	1800 g	1800 g	1800 g
Agua	1.022 l	1.022 l	1.022 l
Ceniza de buchón de agua	2,56 g	5.12 g	0 g

4. Ensayos mecánicos

El ensayo de resistencia a la compresión se llevará a cabo utilizando la máquina universal de los laboratorios del Parque de innovación científica y social Cr. 90 una herramienta que permite la aplicación controlada y precisa de cargas axiales de compresión. La velocidad de carga, un parámetro crucial, se ajustará dentro de un rango prescrito, garantizando la consistencia y comparabilidad de los resultados, y siguiendo las recomendaciones de las normas NTC y ASTM.

La evaluación de la resistencia a la compresión se realizará a intervalos específicos, a los 3, 7, 14 y 28 días después de la fabricación de los especímenes. Estos períodos permiten observar la evolución de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo, proporcionando datos valiosos sobre su desarrollo durante las distintas etapas de curado.

El cálculo de la resistencia a la compresión se realizará dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen, conforme a las fórmulas y metodologías establecidas en las normativas aplicables. Este enfoque sistemático garantiza la obtención de resultados precisos y confiables, fundamentales para entender cómo las cenizas de buchón de agua impactan las propiedades mecánicas del concreto.

Los ensayos mecánicos son realizados en los laboratorios del PCIS de la Corporación Universitaria Minuto de Dios después de haber completado los tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. Los ensayos se centran en la resistencia a la compresión, y se llevan a cabo siguiendo las pautas establecidas por la norma NTC 673, con un objetivo de alcanzar una resistencia de 21 MPa. Cada cilindro de concreto marcado (Imagen 18), incluyendo aquellos con diferentes porcentajes de cenizas de jacinto de agua, se somete a pruebas de compresión (Imagen 19) en una máquina universal. También se incluye un cilindro de control para fines comparativos.



Imagen 18: Cilindros Marcados.



Imagen 19: Ensayo a compresión del cilindro.

Preparación de las muestras

Debido a que el SEM utiliza electrones y trabaja en condiciones de alto vacío para poder formar una imagen, se puede requerir una mínima preparación especial. Por ejemplo, las muestras hidratadas han de seguir algún tipo de proceso previo de deshidratación. Las muestras biológicas deben fijarse químicamente de manera previa. Y aunque los metales conductores no requieren preparación antes de ser observados, toda muestra no conductora necesita recubrirse con una capa delgada de material conductor. Esto último se hace mediante el uso de dispositivos que evaporan carbono en condiciones de vacío o bien depositan algún metal pesado, (Au habitualmente) mediante un aparato llamado “sputter-coater” (podría traducirse como pulverizador catódico) El dispositivo de recubrimiento por pulverización catódica o sputtering utiliza un campo eléctrico y gas argón para su funcionamiento: La muestra se coloca en una pequeña cámara al vacío. El argón y un campo eléctrico causan una atmósfera ionizada, propiciando que los iones de argón positivos impacten sobre una lámina de oro polarizada con carga negativa.

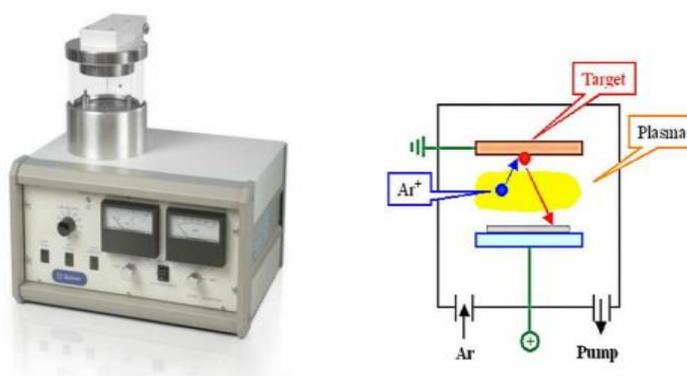


Imagen 20: Imagen de un Sputter coater comercial y esquema de funcionamiento básico.

Los iones de argón arrancan los átomos de oro de la superficie de la lámina, que se redepositan homogéneamente sobre la superficie de la muestra. Se produce así un recubrimiento de oro muy fino y de grosor bastante controlable. Si lo que se pretende es adquirir imágenes de calidad, se utiliza el recubrimiento con Au. Si lo que se requiere es analizar la preparación mediante rayos X, entonces resulta mejor opción el carbono ya que la señal de este elemento no interferirá tan drásticamente con el resto de los elementos, a no ser que precisamente sea carbono lo que se pretenda analizar.



Imagen 21: Metalizador Pontificia Universidad Javeriana. Quorum Q 150R.

Existen algunos SEM que pueden trabajar en condiciones de bajo vacío, con una presión superior en la cámara del espécimen a la habitual en los SEM's convencionales. Las presiones de trabajo en estos microscopios suelen ser mayores de 10 Pa, mientras que la presión de un SEM convencional suele estar alrededor de 10^{-4} Pa. Estos microscopios suelen dedicarse a la observación de muestras biológicas, materiales que presenten una especial sensibilidad al vacío o muestras únicas que no sea posible recubrir (muestras arqueológicas, por ejemplo). En bajo vacío, se disminuye el efecto de carga en la muestra descrito más arriba y, de este modo, se pueden observar también muestras no conductoras, sin necesidad de recubrirlas. Se debe mencionar el ensayo o prueba microscópica, describiendo la preparación y montaje de las muestras, los equipos utilizados y el laboratorio en el que se encuentran. López, (2016).

5. Análisis e interpretación de resultados:

En esta etapa del proceso se hace en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos. Los datos de resistencia a la compresión se registran para los tiempos de 3, 7, 14 y 28 días, y se utilizan para construir gráficas de esfuerzo vs. deformación. Estas gráficas son cruciales para evaluar la mejora de la resistencia en las muestras con cenizas de jacinto de agua en comparación con el grupo de control. Los resultados permiten obtener conclusiones sólidas y respaldadas por datos con respecto a la influencia de las cenizas de jacinto de agua en la resistencia del concreto.

Esta metodología para la ejecución del proyecto de investigación y la obtención de resultados significativos en cuanto a la aplicación de cenizas de jacinto de agua en el diseño de concreto, contribuyendo al avance de la ingeniería civil y la sostenibilidad ambiental.

RESULTADOS

Esta etapa se considera como un complemento a la recopilación de datos, ya que se centra en la gestión y procesamiento de la información. Consistió en analizar los datos obtenidos para generar resultados significativos. Los datos se examinaron de manera individual para comprender el comportamiento de cada mezcla. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis conjunto con el objetivo de realizar una comparación entre ambas mezclas, lo que permitió evaluar la viabilidad de la solución propuesta al problema.

En la máquina universal (Imagen 3), se registraron los datos de fuerza aplicada (kN) y deformación del espécimen (mm). Para construir las gráficas de esfuerzo versus deformación, fue necesario calcular el esfuerzo al que se sometió la probeta y la deformación unitaria. Para lograr esto, se tomaron las dimensiones de la probeta, que incluyeron el área, la longitud y el diámetro. Estos datos se recopilaron para las 16 probetas que experimentaron fallas, y los resultados se utilizaron en el análisis de la tabla 2

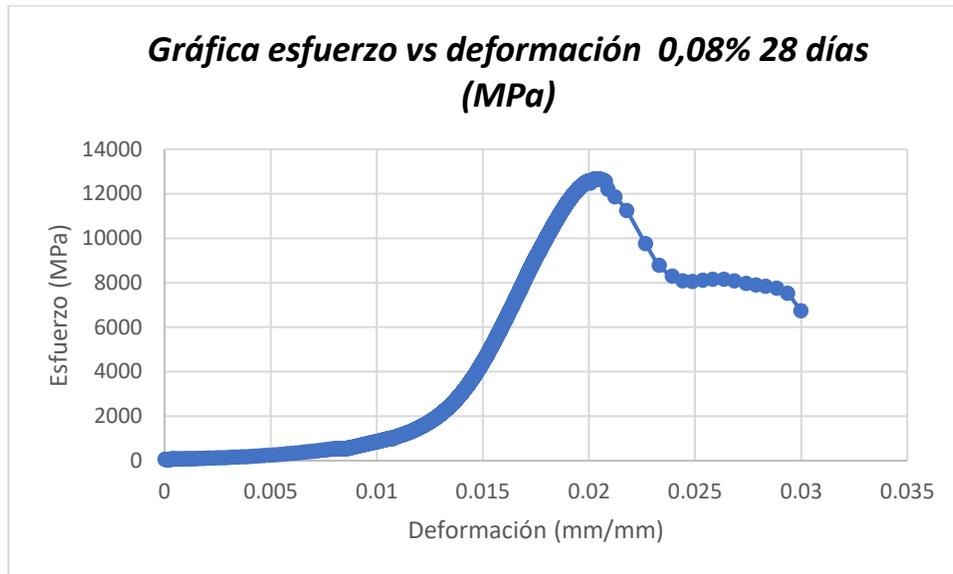
Tabla 2: Dimensiones de las probetas.

Probeta	Área probeta (m ²)	Diámetro de la probeta (m)	Longitud de la probeta (m)
Control 3 días	0.0087417	0.1055	0.203
Control 7 días	0.0086920	0.1055	0.203
Control 14 días	0.0086920	0.1055	0.203
Control 28 días	0.0086920	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua 3 días (0,08%)	0.0088212	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua 7 días (0,08%)	0.0087822	0.1058	0.203
Ceniza de buchón de agua 14 días (0,08%)	0.0086920	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua 28 días (0,08%)	0.0086920	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua 3 días (0,16%)	0.0087417	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua 7 días (0,16%)	0.0087914	0.1058	0.203
Ceniza de buchón de agua 14 días (0,16%)	0.0086920	0.1055	0.203
Ceniza de buchón de agua (0,16%)	0.0086819	0.1055	0.203

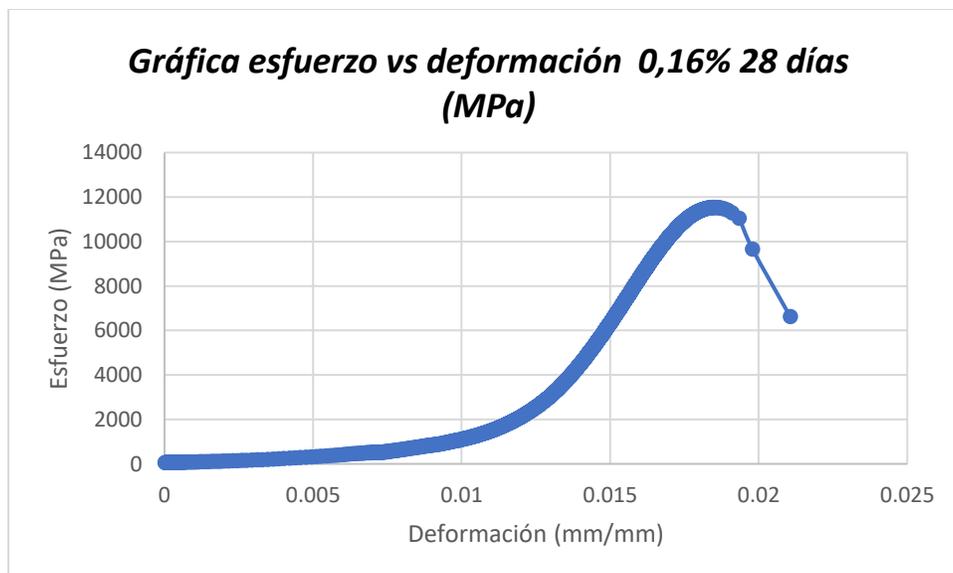
La representación gráfica de la relación entre el esfuerzo y la deformación, conocida como la curva de esfuerzo-deformación, desempeña un papel fundamental en la ingeniería de

materiales y estructuras. Esta curva ofrece información detallada sobre las propiedades mecánicas del material, incluyendo su resistencia. Además, es esencial para la evaluación de estructuras, proporcionando datos sobre la capacidad de un material para soportar tensiones y deformarse antes de la falla.

Gráfica curva de esfuerzo-deformación a los 7, 14 y 28 días con las probetas falladas de Control y las de los porcentajes de ceniza de 0.08% y 0.16%

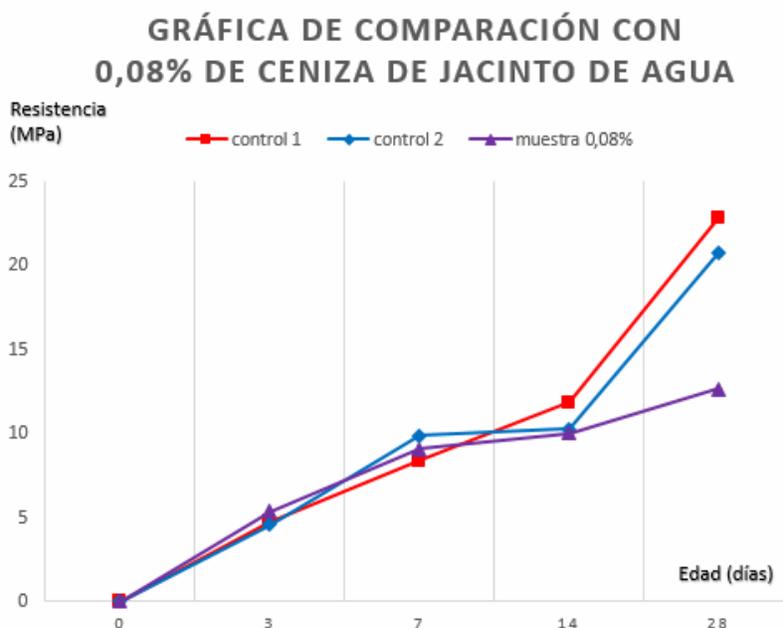


Gráfica 1: Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 28 días



Gráfica 2: Porcentaje de ceniza 0.16 % esfuerzo vs deformación a los 28 días.

Resultados de ensayos de laboratorio a compresión con porcentajes de control y ceniza de buchón de agua:



Gráfica 3: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%

A los 3 días, se observa un aumento significativo en la resistencia del concreto en las muestras con la adición de cenizas de Jacinto de agua en comparación con la muestra de control. Estos resultados indican una mejora en las propiedades mecánicas del concreto en las etapas iniciales.

A los 7 días, las muestras con la adición de cenizas de Jacinto de agua continúan mostrando una resistencia superior a la muestra de control. Esto sugiere que las cenizas de Jacinto de agua siguen contribuyendo positivamente a la resistencia del concreto.

A los 14 días, aunque la muestra de control mantiene la resistencia, las muestras con cenizas de Jacinto de agua comienzan a mostrar un ligero descenso en la resistencia en comparación con los resultados anteriores.

A los 28 días, se observa una diferencia significativa en la resistencia entre la muestra de control y las muestras con cenizas de Jacinto de agua. Las muestras con cenizas de Jacinto de agua muestran una resistencia inferior en este punto, lo que sugiere una disminución en la eficacia de las cenizas a medida que avanza el tiempo de curado.

Esta gráfica muestra la resistencia a la compresión del concreto en diferentes puntos temporales, que abarcan desde los primeros 3 días de curado hasta los 28 días. Los tres conjuntos de datos presentados en la gráfica son los siguientes:

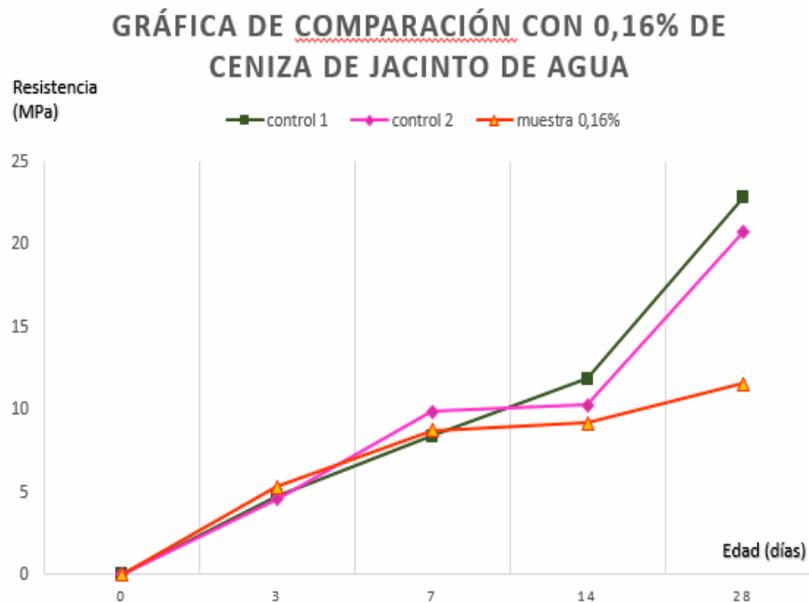
- Control 1: Representa la muestra de control sin adición de cenizas de Jacinto de agua.
- Control 2: Otra muestra de control sin adición de cenizas de Jacinto de agua para fines comparativos.
- Muestra 0,08%: Refleja la muestra con un 0.08% de cenizas de Jacinto de agua añadidas al concreto.

La gráfica muestra claramente cómo la resistencia del concreto evoluciona a lo largo del tiempo en los tres conjuntos de probetas. Observamos cambios notables en las resistencias a 3 y 7 días, seguidos de una tendencia diferenciada a los 14 y 28 días. Estos datos proporcionan una visión enriquecedora del efecto de las cenizas de Jacinto de agua en la resistencia del concreto a diferentes etapas de curado, lo que es fundamental para comprender su impacto en aplicaciones prácticas de ingeniería civil.

Estas gráficas ofrecen información valiosa y respaldan la interpretación detallada de los resultados, permitiendo una evaluación más precisa de la influencia de las cenizas de Jacinto de agua en el comportamiento del concreto a lo largo del tiempo.

Tabla 3: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08 % en MPa.

Días	Control 1 MPa	Control 2 MPa	Muestra 0,08% MPa
f0	0	0	0
3	4,78	4,57	5,34
7	8,39	9,87	9,07
14	11,84	10,26	10,03
28	22,77	20,69	12,66



Gráfica 4: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%

Continuando con la presentación de los resultados, se exhiben las gráficas de comparación de resultados que resumen las mediciones de resistencia a diferentes intervalos de tiempo en tres grupos de probetas: las muestras de control y las muestras con adiciones de cenizas de Jacinto de agua al 0.16%. Estas gráficas proporcionan una representación visual de cómo la resistencia del concreto evoluciona a lo largo del tiempo en cada conjunto de probetas.

En esta gráfica, se presenta la resistencia a la compresión del concreto en varios momentos temporales, que abarcan desde los primeros 3 días de curado hasta los 28 días. Los tres conjuntos de datos presentados en la gráfica son los siguientes:

Control 1: Representa la muestra de control sin adición de cenizas de Jacinto de agua.

Control 2: Otra muestra de control sin adición de cenizas de Jacinto de agua, utilizada para fines de comparación.

Muestra 0,16%: Refleja la muestra con un 0.16% de cenizas de Jacinto de agua incorporadas al concreto.

La gráfica destaca de manera clara cómo la resistencia del concreto evoluciona en cada uno de los tres grupos de probetas durante diferentes períodos de tiempo. Se pueden observar cambios notables en las resistencias a los 3 y 7 días, seguidos de una tendencia específica a los 14 y 28 días. Estos datos proporcionan una visión detallada del efecto de las cenizas de Jacinto de agua en la resistencia del concreto en varias etapas de curado, lo cual es esencial para comprender su influencia en aplicaciones prácticas de ingeniería civil.

Tabla 4: Datos del control y del porcentaje de ceniza 0.16 en MPa%

Días	Control 1 MPa	Control 2 MPa	Muestra 0,16% MPa
0	0	0	0
3	4,78	4,57	5,31
7	8,39	9,87	8,72
14	11,84	10,26	9,15
28	22,77	20,69	11,53

A continuación, se presentan las gráficas que resumen los resultados más destacados en términos de resistencia a lo largo de diferentes períodos de tiempo para los tres grupos de probetas: las muestras con los porcentajes de ceniza de Jacinto de agua al 0.08% y 0.16%, así como las muestras de control sin adición de cenizas. Estas gráficas resaltan los mejores resultados obtenidos en cada conjunto de probetas, lo que proporciona una visión más clara de cómo varían las resistencias a lo largo del tiempo.

Gráfica 5 de los mejores resultados por porcentajes de ceniza y control



Gráfica 5: Gráfica mejores resultados obtenidos

Tabla 5: Datos mejores resultados obtenidos.

Días	Mejor resultado 0,08% MPa	Mejor resultado 0,16% MPa	Mejor resultado control MPa
0	0	0	0
3	5,34	5,31	6,26
7	9,87	8,72	10,33
14	10,03	9,15	15,38
28	12,66	11,53	22,77

Módulo de rigidez

Se analizó el módulo de rigidez como un indicador clave de las propiedades mecánicas del concreto. Este parámetro, fundamental en la evaluación de la elasticidad del material, se estima a partir de los resultados de resistencia a la compresión. Los datos se presentaron en la siguiente tabla, destacando tanto los valores para muestras de control como aquellos con la adición de ceniza de jacinto de agua en porcentajes específicos.

Tabla 6: Módulo de Rigidez.

Días	Tipo de Muestra	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de rigidez (MPa)
3	Control 1	4,78	97,68
3	Control 2	4,57	95,92
3	Muestra 0,08%	5,34	101,74
3	Muestra 0,16%	5,31	103,00
7	Control 1	8,39	122,17
7	Control 2	9,87	125,34
7	Muestra 0,08%	9,07	120,18
7	Muestra 0,16%	8,72	119,43
14	Control 1	11,84	135,79
14	Control 2	10,26	127,69
14	Muestra 0,08%	10,03	126,09
14	Muestra 0,16%	9,15	120,09
28	Control 1	22,77	212,80
28	Control 2	20,69	202,28
28	Muestra 0,08%	12,66	162,72
28	Muestra 0,16%	11,53	135,19

Los resultados indican variaciones significativas en el módulo de rigidez en función de la presencia y el porcentaje de ceniza de jacinto de agua. Se observa una tendencia interesante

en la elasticidad del concreto, destacando la influencia de la adición de ceniza en diferentes periodos. Este análisis proporcionará una comprensión más profunda de cómo estos componentes afectan la capacidad del concreto para deformarse elásticamente bajo carga.

Los resultados obtenidos a través de la evaluación de resistencia a la compresión y módulo de rigidez ofrecen una visión de cómo la adición de ceniza de jacinto de agua impacta las propiedades mecánicas del concreto en diferentes periodos.

A los 3 días, para la muestra con un 0.08% de ceniza en comparación con los controles, evidenciando la rápida reacción puzolánica de la ceniza. Sin embargo, no se proporcionaron datos para la muestra con 0.16% de ceniza en este periodo.

A los 7 días, las muestras con 0.08% y 0.16% de ceniza presentan que, aunque inferiores a los controles, muestran una tendencia ascendente. Es interesante destacar que el módulo de rigidez estimado sugiere una elasticidad similar entre las muestras y los controles.

A los 14 días, las muestras con ceniza son comparables a los controles. Sin embargo, el módulo de rigidez evidencia una ligera disminución en las muestras con ceniza, indicando una mayor deformación elástica.

A los 28 días, se observa una mejora significativa en para las muestras con 0.08% de ceniza, superando incluso a los controles. No obstante, el módulo de rigidez refleja una tendencia decreciente en todas las muestras, sugiriendo una mayor deformación elástica con el tiempo.

Estos resultados indican que la adición de ceniza de jacinto de agua tiene un impacto significativo en la resistencia a la compresión, especialmente a los 28 días. Sin embargo, la evaluación del módulo de rigidez revela que, a pesar de la mejora en la resistencia, la elasticidad del concreto puede verse comprometida con la presencia de ceniza. Este hallazgo destaca la importancia de considerar no solo la resistencia, sino también la deformación elástica al diseñar concretos con adiciones puzolánicas.

Los resultados reflejan una mejora inicial en la resistencia del concreto con la adición de cenizas de Jacinto de agua durante los primeros 3 y 7 días de curado, superando la resistencia de la muestra de control. Sin embargo, a medida que se prolonga el tiempo de curado a 14 y 28 días, se observa una disminución en la resistencia en las muestras con cenizas de Jacinto de agua en comparación con la muestra de control.

Estos hallazgos sugieren que las cenizas de Jacinto de agua tienen un impacto positivo en las propiedades mecánicas del concreto en las etapas iniciales, pero su efecto disminuye con el tiempo. La variación en los resultados a lo largo del período de curado puede deberse a factores como la reacción de las cenizas con el concreto y su capacidad de fortalecimiento inicial.

Los anteriores resultados proporcionan información valiosa sobre el potencial uso de cenizas de Jacinto de agua en la industria de la construcción y pueden ser útiles para diseñar mezclas de concreto con características específicas en proyectos de ingeniería civil.

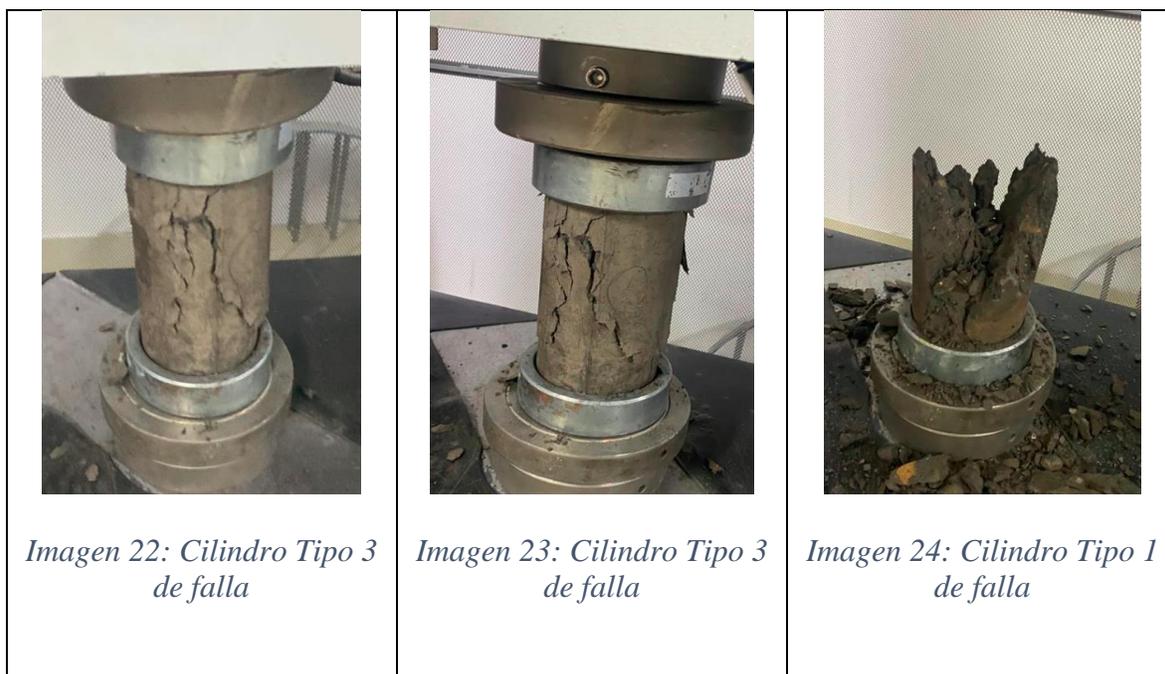
El análisis del tipo de falla en las muestras de concreto con la incorporación de cenizas de jacinto de agua proporciona información valiosa sobre el comportamiento estructural y las propiedades mecánicas del material. La observación del tipo de falla se realiza durante las pruebas de resistencia a la compresión y puede ofrecer detalles sobre la distribución de esfuerzos y la interacción entre los componentes del concreto y las cenizas. A continuación, se realiza un análisis del tipo de falla en las muestras presentadas:

3 días:

En este período, se observa que las muestras de control y aquellas con adición de ceniza de jacinto de agua experimentan una resistencia a la compresión superior a los 3 días, indicando una reacción inicial rápida.

El tipo de falla podría caracterizarse por fracturas más abruptas y menos definidas, sugiriendo que las muestras han experimentado una rotura temprana sin una deformación significativa.

El tipo de falla es tipo 1 y tipo 3 según la norma Colombiana NTC 673

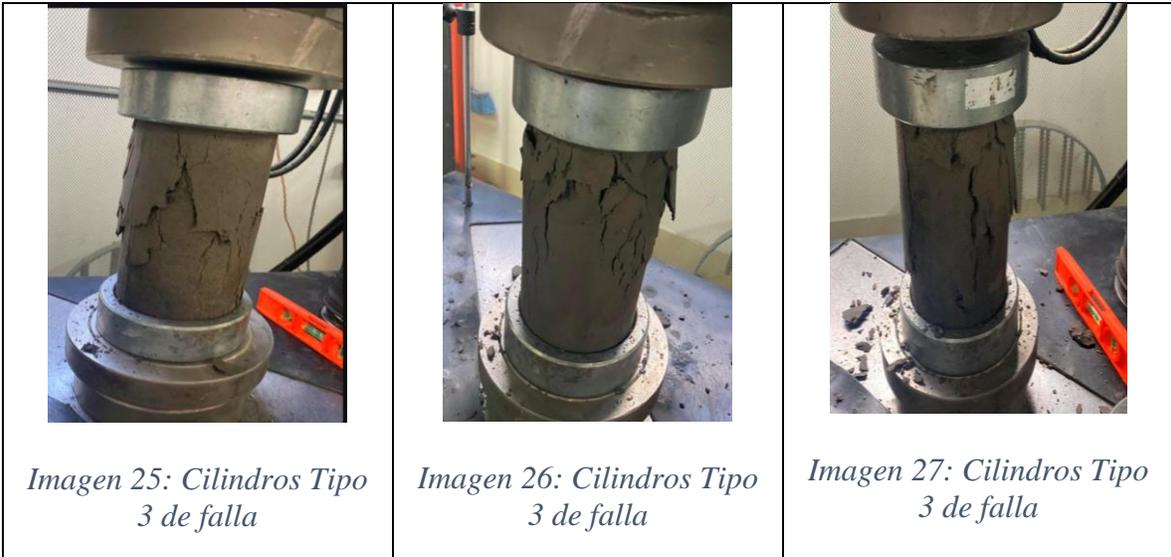


7 días:

Aunque las muestras con ceniza muestran una resistencia inferior en comparación con los controles, se observa una tendencia ascendente en elasticidad.

El tipo de falla puede presentar fracturas más pronunciadas, pero con algunas zonas de deformación plástica, indicando una mayor capacidad de las muestras para absorber cargas antes de la rotura.

El tipo de falla tipo 3 según la norma Colombiana NTC 673



14 días:

Las muestras con ceniza son comparables a los controles en resistencia, pero el módulo de rigidez sugiere una ligera disminución en la elasticidad de las muestras con ceniza.

El tipo de falla podría caracterizarse por fracturas más definidas y una mayor deformación plástica, indicando una mayor capacidad de deformación antes de la rotura.

El tipo de falla tipo 2,5 y 6 según la norma Colombiana NTC 673



28 días: El tipo de falla podría mostrar fracturas más evidentes, indicando una rotura más pronunciada y una posible mayor deformación antes de la rotura.

El tipo de falla tipo 2 según la norma Colombiana NTC 673

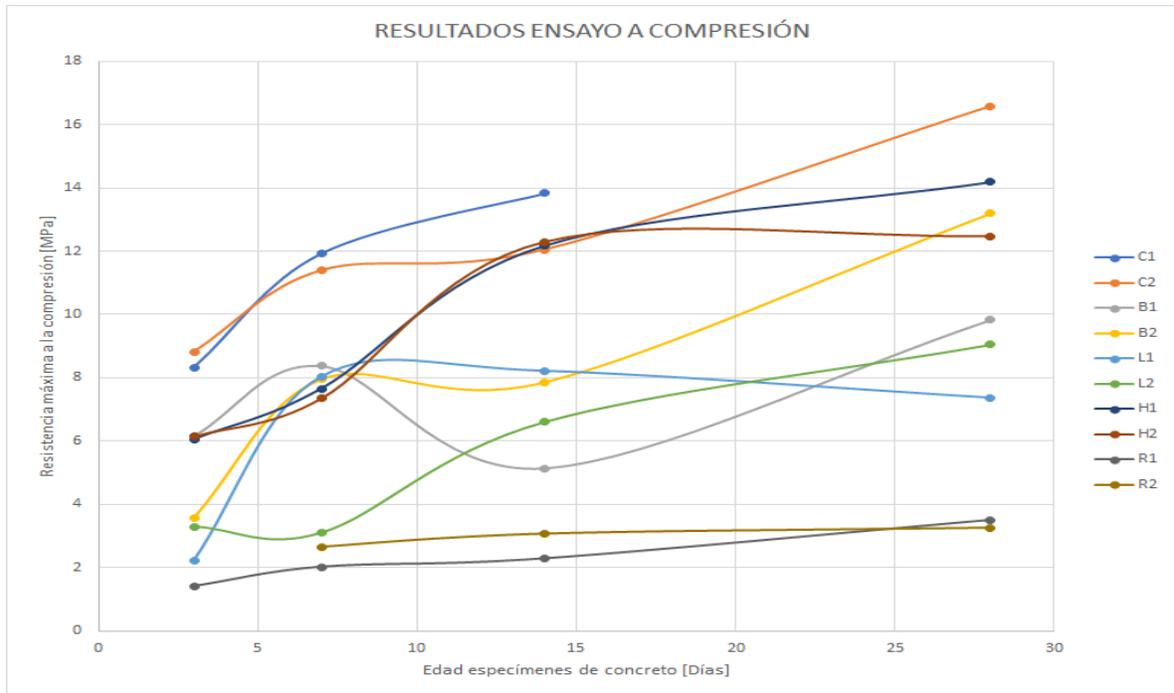


Comparación de resultados de otros autores de la Corporación Universitaria Minuto de Dios

A continuación, se ven los resultados del ensayo a compresión de cada muestra, para cada uno de los periodos en los que se realizó. Se observa que las más altas resistencias se obtienen para los 28 días de curado, siendo las muestras de concreto + hoja (H1 y H2) y las de concreto + peciolo o bulbo (B1 y B2) las que presentan, mejores resultados en comparación con las muestras Control (C1 y C2), sin adición de tejidos vegetales. (Buriticá y Barreiro, 2022).

Tabla 7: Resultados ensayo a compresión [MPa] Buriticá y Barreiro, (2022)

MUESTRA	EDAD (días)			
	3	7	14	28
C1	8.3287	11.9328	13.8308	
C2	8.8225	11.3946	12.0478	16.576
B1	6.1564	8.3711	5.1390	9.8275
B2	3.5776	7.9556	7.8557	13.1987
L1	2.2283	8.0290	8.2079	7.3600
L2	3.2984	3.1002	6.6025	9.0466
H1	6.0481	7.6526	12.1733	14.1880
H2	6.1410	7.3453	12.2883	12.4647
R1	1.4046	2.0193	2.2847	3.5052
R2		2.6559	3.0696	3.2567

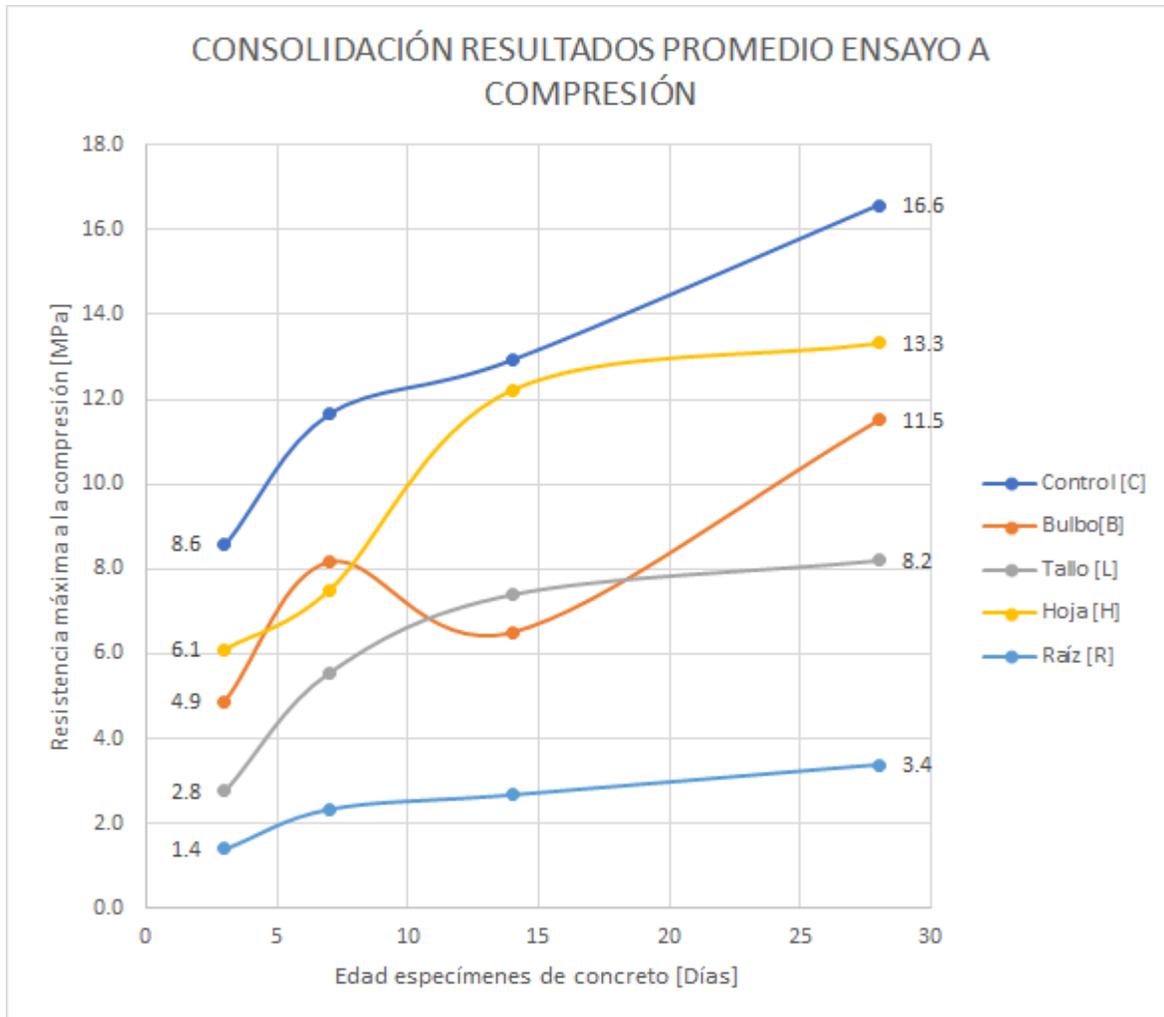


Gráfica 6: Gráfica ensayos a compresión. Buriticá y Barreiro, (2022)

se observan los resultados promedios obtenidos en cada muestra ensayada, para cada uno de los periodos en los que se realizó el ensayo de compresión. Se observa que para los 28 días de curado las muestras de concreto + hoja presentan los mejores resultados, seguidas de las muestras de concreto + peciolo o bulbo. Buriticá C. y Barreiro J., (2022)

Tabla 8: Consolidación resultados promedio ensayo a compresión [MPa]Buriticá. y Barreiro, (2022)

MUESTRA	EDAD (días)			
	3	7	14	28
Control [C]	8.6	11.7	12.9	16.6
Bulbo[B]	4.9	8.2	6.5	11.5
Tallo [L]	2.8	5.6	7.4	8.2
Hoja [H]	6.1	7.5	12.2	13.3
Raíz [R]	1.4	2.3	2.7	3.4



Gráfica 7: Resultados promedio de los ensayos de compresión. Buriticá C. y Barreiro J. (2022)

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

Se analizaron varios tipos de muestras al laboratorio del microscopio electrónico de barrido (SEM) de la Universidad Javeriana sede Bogotá. Donde se llevaron varias muestras de concreto a las que se le agregaron cenizas de hoja de buchón de agua y muestras de control, para comparar el comportamiento cada tipo de muestra fallándolas a compresión con la máquina universal. A continuación, mostramos algunas de las fases por las que pasa el cemento en su proceso de deshidratación y algunas de estas se pudieron identificar en con el microscopio de barrido:

La hidratación del cemento está en función de las reacciones entre los minerales del cemento (C_3S , C_2S , C_3A , y C_4AF) y el agua, además, de la presencia de yeso y otros aditivos.

Los productos de las reacciones son principalmente silicatos de calcio hidratados, hidróxido de calcio y sulfoaluminatos de calcio hidratados

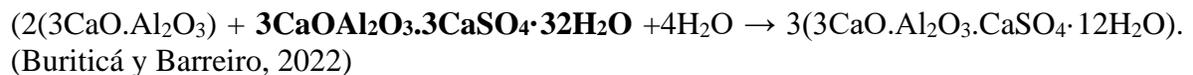
El **C_3S (alita)** es el silicato cálcico más inestable de los presentes en el cemento, al reaccionar con el agua se convierte en silicato de calcio hidratado (gel de tobermorita, y en hidróxido de calcio, así: $2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$.

El silicato dicálcico (**C_2S - belita**), al hidratarse también se convierte en tobermorita gel, y en hidróxido de calcio, pero a diferencia de (1) se produce menos hidróxido de calcio:



El aluminato de calcio (**C_3A - celita**), al combinarse con yeso y agua produce la etringita: **$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 15H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$** .

El aluminato de calcio (celita) con la Etringita, y con agua se convierte en monosulfato:



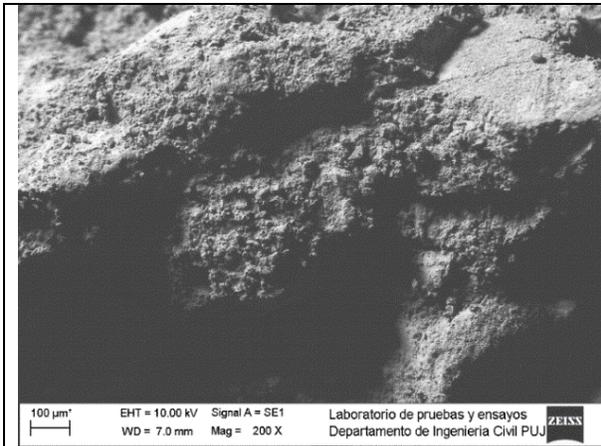


Imagen 32a Concreto control SEI.

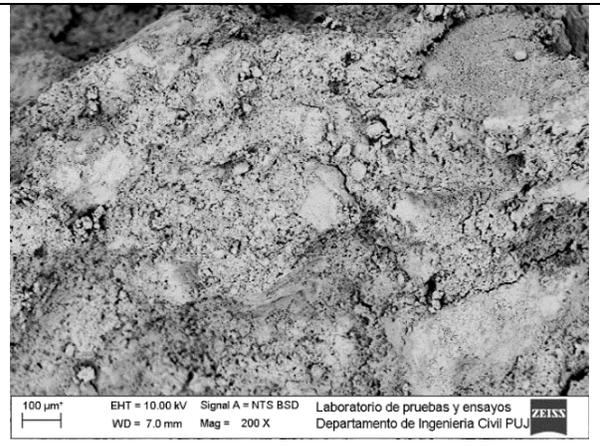


Imagen 33b Concreto control BSD.

Imagen 32a. Concreto control SEI, se observa la tridimensionalidad de la muestra, una fase plana en la parte superior derecha y lo demás con alta rugosidad.

Imagen 32b. Concreto control BSD, se pueden observar detalles con mayor claridad como grietas y la diferenciación de algunas áreas más porosas, para determinar fases es necesario analizar a mayor aumento. Se observa la misma superficie con dos detectores diferentes. 200X.

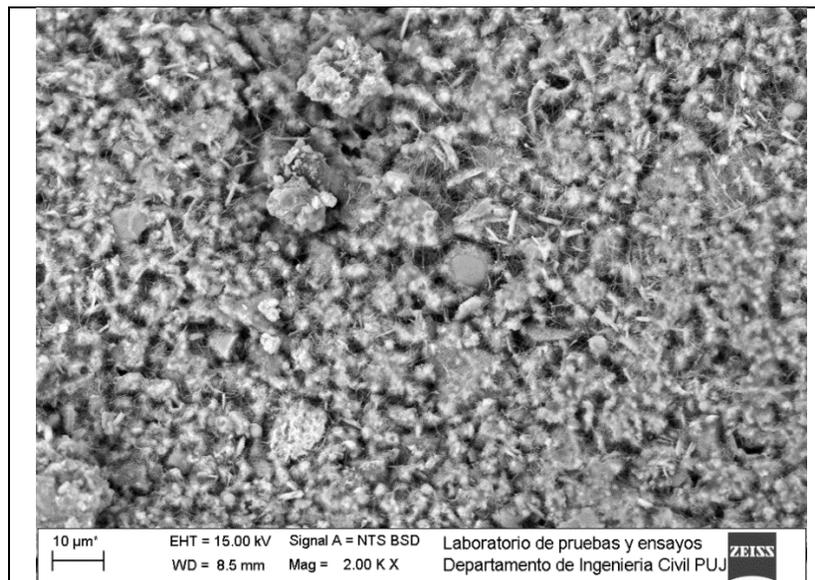


Imagen 33: Etringita - Portlandita – Belita.

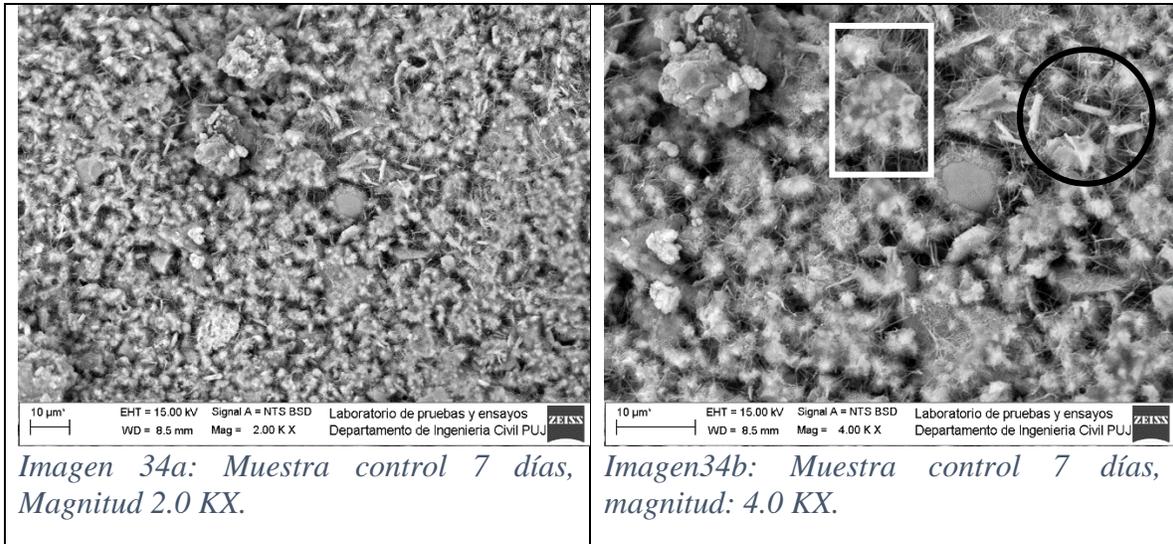
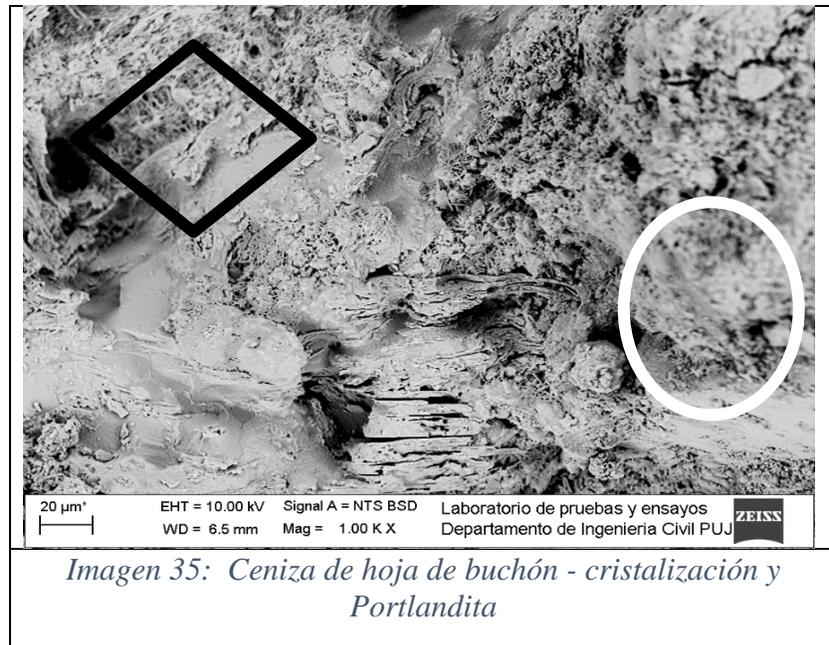
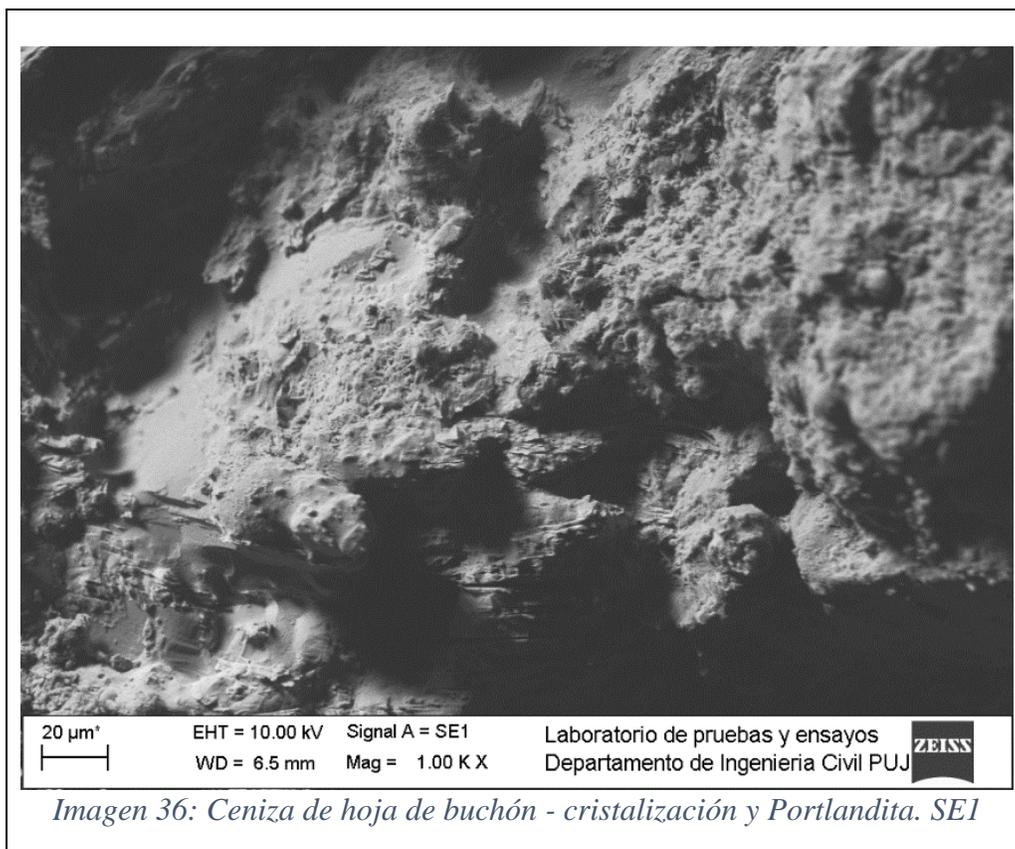


Imagen 34a: Muestra de 7 días de edad de un cilindro de control. a) BSD, Se observan claramente dos fases (recuadro blanco), la tobermorita gel (nubes difusas) y la etringita (pequeñas agujas). **Imagen 34b:** BSD, al hacer un acercamiento mayor se pueden diferenciar con mayor claridad las agujas de etringita, pero también se observan placas de portlandita (círculo) y justo debajo y en medio de las dos figuras geométricas se puede ver belita (redondeada y de color gris).



Esta muestra es de un cilindro al que se le agregó cenizas de buchón también se nota la diferencia en detalle de la imagen producida por el detector de electrones retro dispersados se ven las nubes de tobermorita gel que son las zonas más borrosas en el óvalo de color blanco y agujas de etringita en el rombo de color (**imagen 35**).



y el de electrones secundarios (**imagen 36**), las dos imágenes son con la escala de 20μm y con 1.000X de magnitud de aumento, la característica más importante son los cristales de portlandita formados la parte inferior central formando capas de cristalización, proceso consolidado después de los 7 días de edad de la muestra,

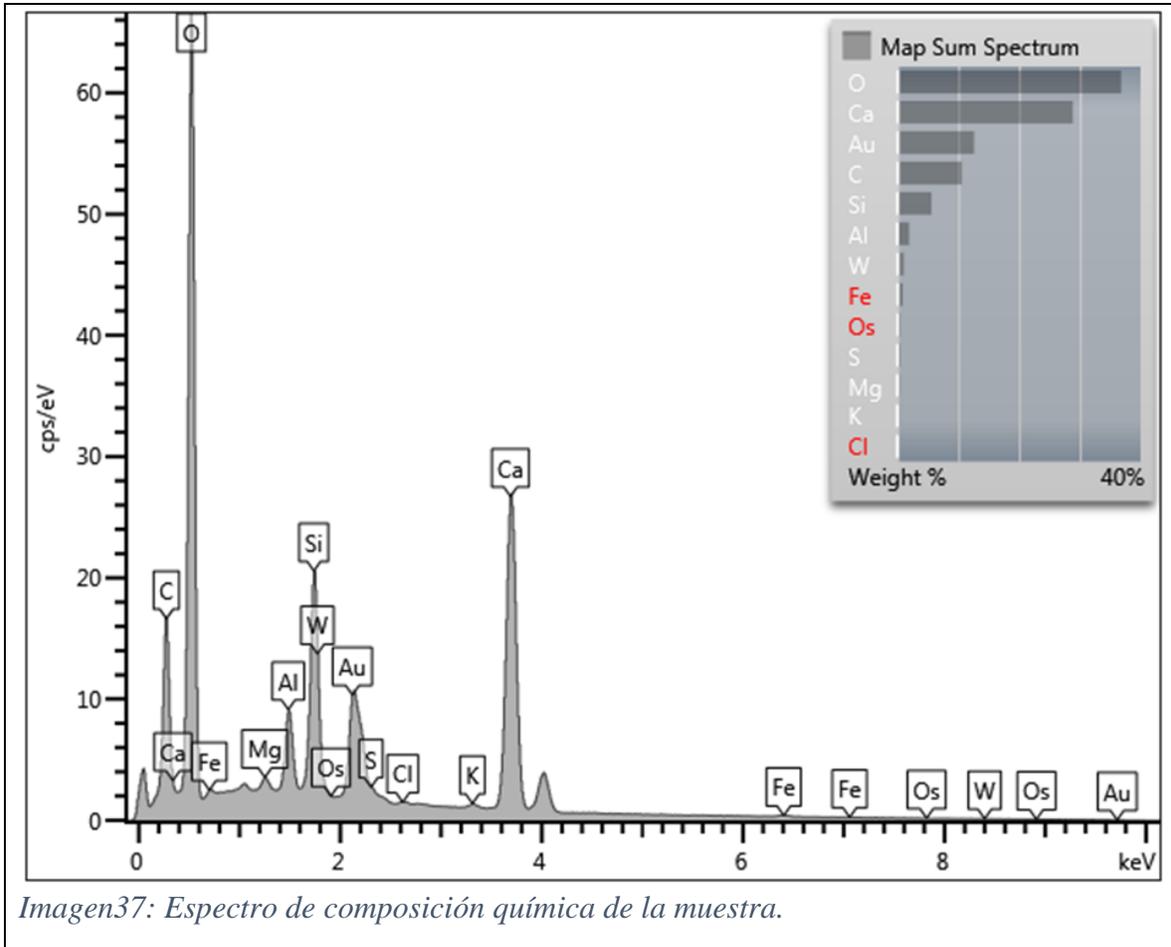
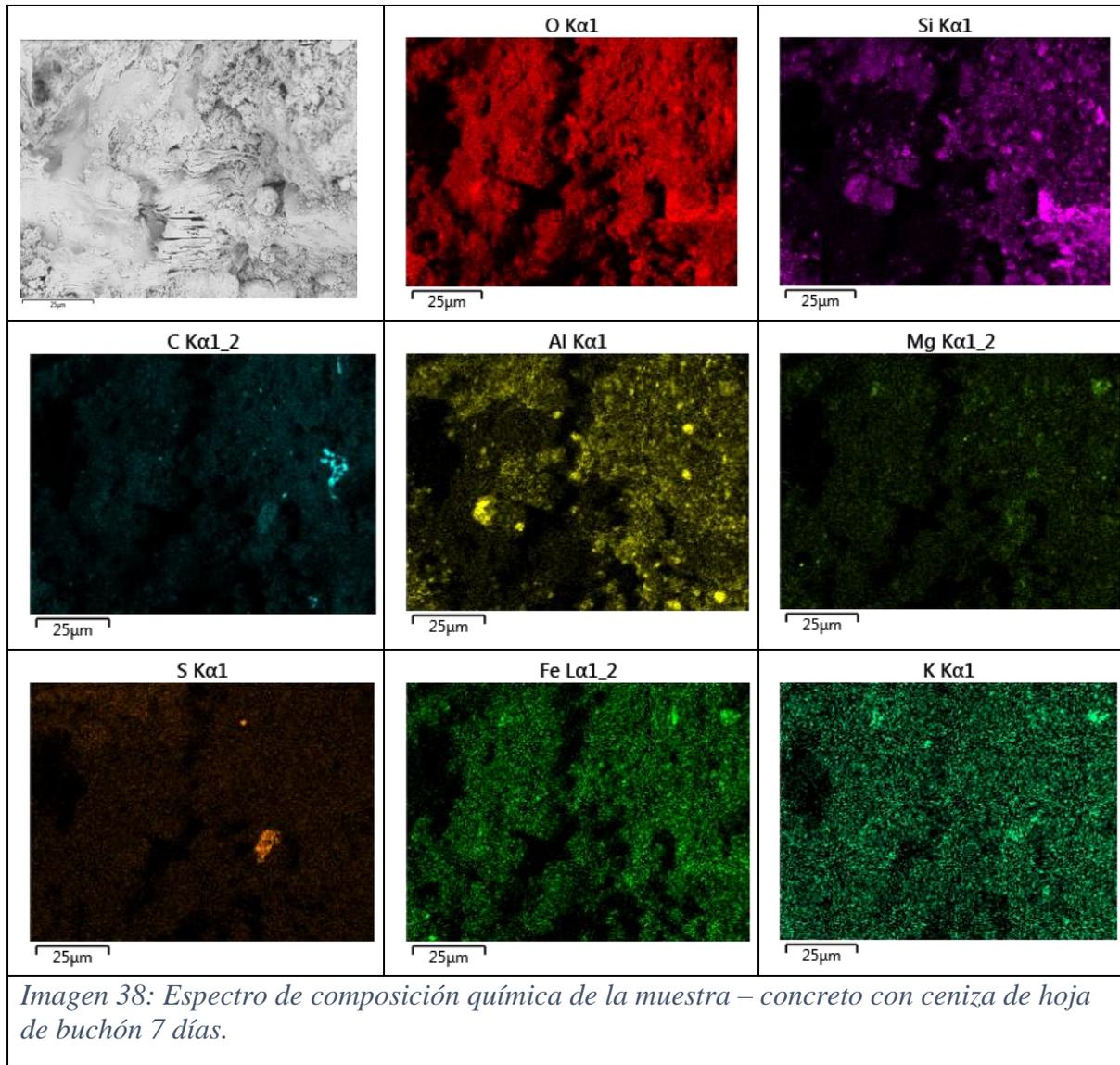


Imagen37: Espectro de composición química de la muestra.

Imagen 37:

Además de las imágenes que se pueden ver con el microscopio electrónico de barrido (MEB), también entrega un mapa de espectro de la composición química de los elementos que componen la muestra, a ésta se le hace un recubrimiento en oro, (cuando se está seguro de no alterar resultados). Si hay oro en su composición se recubre con un hilo de carbono (grafito), para que la muestra sea conductora lo que permitirá que el haz de los detectores reciba la señal para generar la imagen.



El microscopio electrónico de barrido MEB entrega un espectro de la composición química de los elementos presentes en la muestra (**Imagen 38**), tanto en porcentajes calibrados con muestras patrón que viene con el equipo, nos permite editar los colores para cada elemento y como se ve en la imagen da una comparación de en qué parte se acumula cada elemento. En este caso por toda la muestra se distribuyen el carbono, oxígeno, el hierro y potasio, sectorizados el silicio y aluminio con puntos brillantes.

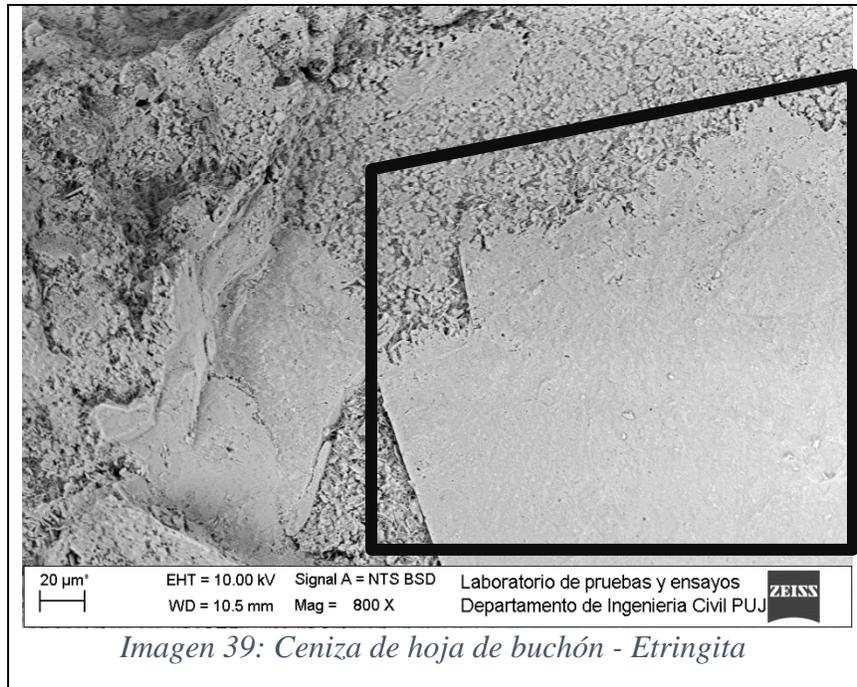


Imagen 39: Imagen producida por el microscopio de barrido electrónico con el detector de electrones retro dispersados, se ve la hoja de ceniza de buchón, resaltado con el polígono de color negro en la parte inferior derecha de la imagen, interactuando con el concreto en fase de etringita que se caracteriza por su forma de agujas.

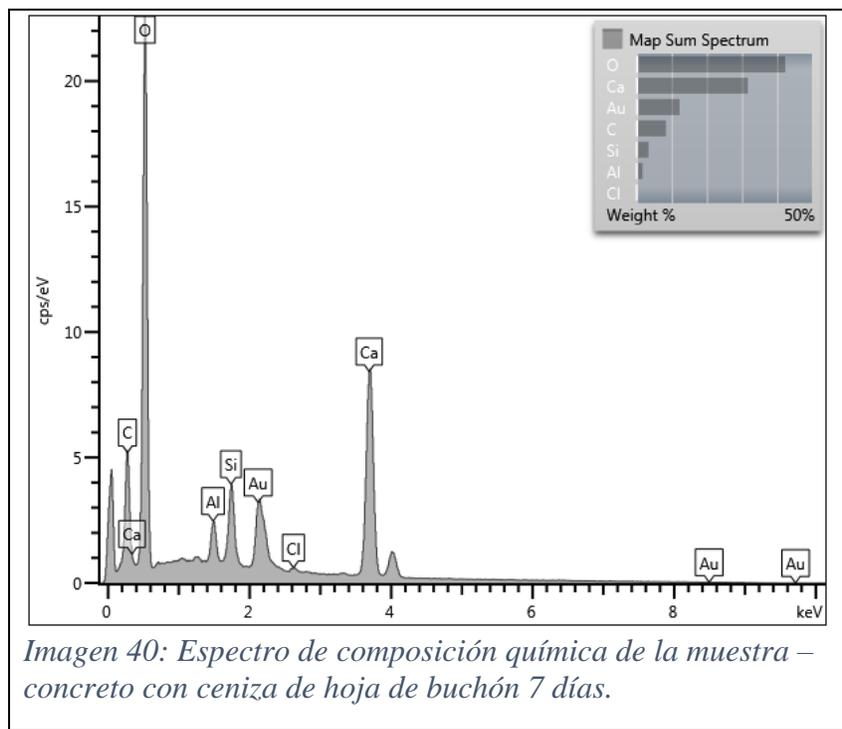


Imagen 40: Porcentaje de elementos que componen la muestra.

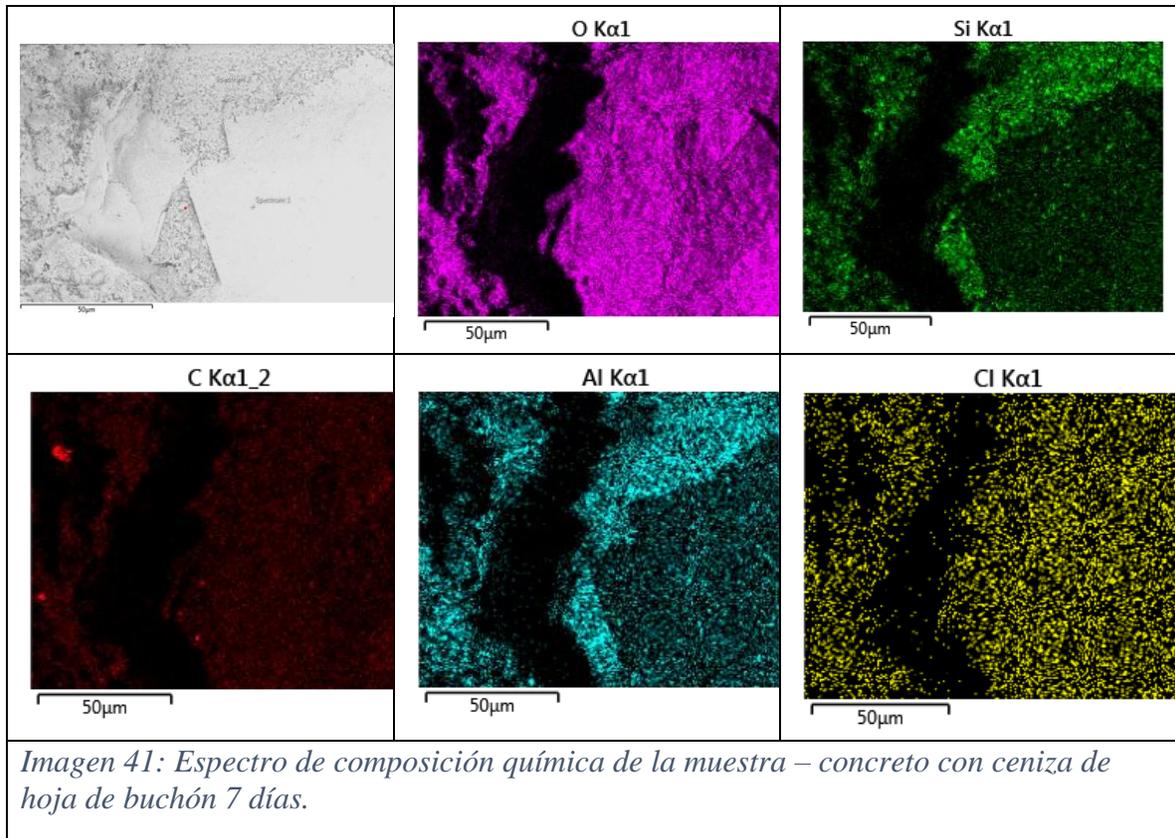


Imagen 41. El espectro de composición química en esta imagen muestra la ceniza de hoja, zona de la parte derecha de la imagen, el oxígeno y carbono componen la mayoría de área de la imagen, el aluminio va disminuyendo la intensidad en la zona de la hoja igual que el silicio.



Imagen 41: Haciendo zoom a la imagen anterior con una magnitud de aumento de 2.000x

DISCUSIÓN:

En el estudio de Cáceres y Quispe se utilizaron cenizas volantes en porcentajes entre 2,5% y 15% a los 28 días se tuvieron las siguientes resistencias en promedio de 221kg/cm² para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm², para el 5.0% 231kg/cm², para el 10.0% 200 kg/cm², y para el 15% 192kg/cm, en nuestro caso obtuvimos para el de concreto normal 22,77 MPa y 20,69 MPa, para el 0,08% de ceniza de buchón de agua se obtuvo 12,66 MPa y para el de 0,16% de ceniza de buchón de agua se obtuvo 11,53 MPa.

Los resultados de Cáceres y Quispe indican que el uso de ceniza volante hasta el 10% mejora la resistencia, pero más allá de este valor, la resistencia disminuye.

En el estudio de Mendoza y Badajos se utilizaron ceniza de cascarilla de arroz utilizando un diseño de mezcla de f'c 210 kg/cm², y los porcentajes de ceniza de entre 10% y 20% donde la resistencia es para concreto normal es de f'c 287,30 kg/cm², para la adición del 10% es de f'c 293,91 kg/cm², para la adición del 15% es de f'c 258,86 kg/cm² y para la adición del 20% es de f'c 213,46 kg/cm² respectivamente a los 28 días.

Adición del 20% de ceniza de cascarilla de arroz no alcanza la resistencia esperada y sigue siendo recomendable como el estudio de Cáceres y Quispe el uso de ceniza volante hasta el 10%.

Los resultados de ceniza de buchón de agua muestran la resistencia a la compresión con el tiempo, alcanzando valores significativos a los 28 días.

La ceniza de buchón de agua muestra un aumento en la resistencia a la compresión con el tiempo, pero la comparación con otros autores sugiere que es importante considerar la proporción de adición de ceniza inferior a un 10%.

CONCLUSIONES

Tras un análisis de los ensayos realizados para evaluar el comportamiento del concreto con la adición de cenizas de hoja de jacinto de agua a diferentes porcentajes (0.08% y 0.16%), se pueden extraer conclusiones valiosas que aportan una comprensión más profunda sobre la influencia de estas cenizas en la resistencia del concreto en diferentes etapas de curado. Las conclusiones se basan en los resultados obtenidos y en un análisis más amplio de los factores involucrados:

1. La incorporación de cenizas de hoja de jacinto de agua en el concreto tuvo como resultado un aumento en la resistencia a la compresión con las probetas a las que se le agregaron los porcentajes de 0,08% y 0,16% respectivamente, en los 3 a 7 días de curado se obtuvo una resistencia de 8,5 a 9,0 MPa curado, superando las muestras de control. Sin embargo, este efecto positivo disminuye a medida que se extiende el tiempo de curado a 14 y 28 días, donde las muestras con cenizas muestran una resistencia de 10 a 12 MPa mientras que las de control pasaron de los 20 MPa. Este descenso podría deberse a diversos factores como la composición química del cemento, la finura de las cenizas, la relación agua-cemento, la calidad de los agregados, las condiciones ambientales y la eficacia del proceso de curado.
2. La ceniza de buchón de agua por lo evidenciado en este trabajo no aumenta la resistencia a la compresión del concreto al adicionarle un 0,08% y 0,16% del peso, hace falta evaluar con mayores porcentajes.
3. La caracterización microestructural permite observar el comportamiento del cemento hidráulico con los agregados incluyendo la ceniza de buchón de agua, en primer lugar, no se ven cambios drásticos en la fase de hidratación del cemento, la cristalización de tobermorita gel a portlandita, los materiales se mezclan correctamente, hay una matriz uniforme del concreto con la ceniza y no se ve fisuración mayor con respecto a las muestras de control.
4. Los espectros de composición química de las muestras nos dan una idea de cómo se distribuyen espacialmente las cenizas de buchón de agua y si hay adherencia con los agregados y cemento, con la distribución uniforme del carbono, oxígeno, silicatos, aluminio y hierro, se puede concluir que hay compatibilidad y que se puede seguir hacia el futuro adicionando más del 0,16% de cenizas y ver el comportamiento de la resistencia a la compresión y evaluar el comportamiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda llevar a cabo un análisis más detallado de la microestructura del concreto con cenizas de Jacinto de agua para comprender mejor los procesos de hidratación y las interacciones en diferentes etapas de curado. Esto podría implicar investigaciones adicionales utilizando técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD) para examinar la estructura cristalina y la morfología de las muestras a nivel microscópico.
2. Además, se sugiere explorar posibles modificaciones en la formulación de las mezclas de concreto, como ajustar las proporciones de los materiales, la granulometría de las cenizas de Jacinto de agua y la relación agua-cemento, para optimizar la resistencia a largo plazo. La optimización de estos parámetros podría ayudar a mantener o mejorar la resistencia del concreto con la adición de cenizas de Jacinto de agua en períodos de curado más prolongados.
3. Es apropiado hacer más pruebas con diferentes porcentajes de adición de ceniza al concreto para definir si es posible mejorar la resistencia a la compresión del material. En este estudio no se hizo porque los permisos para la recolección de las plantas del buchón representaron varios desafíos y el tiempo permitió hacer solo las pruebas con 0,08% y 0,16%. Trabajar con porcentajes de ceniza superiores podría garantizar una mayor certeza entre la mejora de la resistencia inicial y la conservación de la resistencia a largo plazo del concreto.
4. El microscopio electrónico de barrido (SEM) es una herramienta útil para ver las características y composición química a escala microscópica del concreto al adicionarle cenizas de buchón de agua y para evaluar las variaciones con respecto a las muestras de control. Aunque fueron limitadas los resultados por la cantidad de porcentajes usados en este estudio y los costos de preparación, observación y análisis de las muestras, se recomienda seguir con la exploración con las cenizas de buchón y usar la técnica SEM.

BIBLIOGRAFÍA

Aizpurua, L., Moreno, G., y Caballero, K. (2018). Estudio del concreto de alta resistencia con el uso de cenizas de materiales orgánicos y polímeros.

ASTM International. (2020). ASTM C39 / C39M-20. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, PA: Author. Recuperado de www.astm.org

Buriticá C. y Barreiro J. (2022). Metodología para el aprovechamiento de buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*) de los humedales Juan Amarillo y El Burro.

Cáceres, S., y Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento.

Cárdenas, J., Lizarazo, J., y Chaparro, W. (2016). Comportamiento mecánico de sistemas cementantes ternarios (cemento Portland - ceniza volante - escoria de alto horno).

Cordero, G., Cárdenas, J. y Rojas J., (2019) Diseño de mezclas de concreto usando el método ACI. Universidad Francisco de Paula Santander.
<https://libros.ufps.edu.co/index.php/editorial-ufps/catalog/view/25/20/678>

Coronel, Y., Altamirano, L., y Muñoz, S. (2022). Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico: una revisión de la literatura.

CorpoBoyacá. (s.f.). ABC de la especie invasora: Buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*). Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/abc-de-la-especie-invasora-buchon-de-agua-eichhornia-crassipes/>

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar.

Escobar, J. (2012). Plantas acuáticas en los Humedales de Bogotá. Fundación de Humedales de Bogotá. Recuperado de <https://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>

Guevara, M., y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia Crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. Reseña bibliográfica. Fitorremediación. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

ICONTEC. (2010). Norma Técnica Colombiana – NTC 673: Concretos, Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Tercera Actualización. Bogotá D.C: ICONTEC.

López. M. (2016). Microscopia electrónica de Barrido.pdf. Microscopía Electrónica de Barrido.

Mendoza, A., y Badajos, J. (2018). Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210 kg/cm².

Mendoza, C., Torres, D., Campo, R., Jiménez, J., y Contreras, A. (2019). Compression of Concrete Samples. Universidad Tecnológica de Bolívar.

Montalvo, C., (2010, agosto). Microscopía. https://bct.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/08/2_microscopia.pdf (Artículo consultado el 29 de diciembre de 2023).

Nistal A. y Ruiz M., (2012). El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores identificativos de su resistencia. Tecnología y Desarrollo, (10), 4.

Nurtanto, D., Junaidi, I., Wahyuningtyas, W., y Yunarni, W. (2020). Comparación de la adición de cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de tejas a cemento de geopolímero en base a cenizas volantes con cemento Portland.

Osorio, D., (2022). Reacción álcali agregado: un ensayo importante en la tecnología del concreto.

Porras, C. (2017). Estudio del Buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales. (Tesis de pregrado). UNAD. Bucaramanga.

Rodríguez, A., y Colmenares, F. (2021). Aprovechamiento energético integral de la *Eichhornia Crassipes* (Buchón de agua).

Rosas, I., Carbajal, M., Mez, S., y Belmont R. (1982). Cytogenetic Effects of Cadmium Accumulation on Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*). Departamento de Química de la Atmósfera y Estudios del Agua.

Salas, A. (2019). El Jacinto de Agua como material de construcción en África Subsahariana.

Thapa, G., Das, D., Gunupuru, L. y Tang, B. (2016). Endurance assessment of *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms, in heavy metal-contaminated site — A case study. Cogent Environmental Science.

Yepes V. (2017). Los orígenes del hormigón armado. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/04/los-origenes-del-hormigon/> (Consultado el 11 de agosto de 2023).

Zheng, L. (2016). Effects of different forms of nitrogen on rhizosphere microbial community structure of *Eichhornia Crassipes*.

Zhou, Hamilton y Zhu. (2007). Extraction and retrieval of potassium from Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*).

ANEXOS

XXI ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Nodo Bogotá - Cnd.

UNAD
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

UNIAGRARIA
UNIVERSIDAD AGROPECUARIA

EL BOSQUE
UNIVERSIDAD EL BOSQUE

JUAN N. CORREA
UNIVERSIDAD JUAN N. CORREA

UNIVERSIDAD CENTRAL

UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA

La Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación RedCOLSI
Nit. 900.014.966-5

Certifica que:

Ronald Yamid Estrada Urazan
C.C. 1.000.377.138

Participó como ponente en el

**XXI Encuentro Regional de Semilleros de Investigación
Nodo Bogotá - Cundinamarca**

Que se llevó a cabo del 10 al 12 de mayo de 2023, en modalidad virtual
Se firma en Bogotá D.C, a los doce (12) días del mes de mayo de 2023.

Carlos Carranza
Carlos Edwin Carranza Gutierrez
Coordinador Nodo Bogotá-Cundinamarca
Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación

Mónica Calero
Mónica Calero Manzano
Tesorera (E)/Vocal 1. Nodo Bogotá-Cundinamarca
Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación

Museo
SAN PABLO
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RORCIVIA
UNIVERSIDAD EDO
AGROPECUARIO
TALLER CINCO
SABESIANA
UNIVERSIDAD La Gran Colombia
UNISYMS
UTADEO
ASTURIAS
UNILATINA
UNAGSINANA

Anexo 1: Certificado **redcosi**.



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
REFORZAMIENTO DEL CONCRETO CON CENIZAS DE BUCHÓN DE AGUA
INGENIERÍA CIVIL
Ronald Estrada
restradaura@uniminuto.edu.co

Introducción

El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una especie de plantas flotantes, puede reproducirse extremadamente rápido (Zhou 2007), influyendo de manera negativa en el ambiente (Zheng L, 2016).

Objetivos

Objetivo general

- Caracterizar mecánicamente el concreto reforzado con cenizas de jacinto de agua

Objetivos específicos

- Encontrar el porcentaje óptimo de cenizas de jacinto de agua para reforzar el concreto
- Determinar a través de los ensayos a compresión si la ceniza del Jacinto de agua es apropiada o no como aditivo del concreto

Metodología

1. Búsqueda de información
2. Recolección de plantas y preparación de probetas
3. Ensayos mecánicos
4. Análisis e interpretación de resultados

Referente Teórico

Estudios realizados en la central térmica Ilo 21, generando electricidad a base de ceniza volante, utilizada como adición al cemento en porcentajes inferiores al 10% demostrando mayor resistencia que un porcentaje más allá del 10% (Cáceres S, Quispe G, 2018).

Resultados

Resistencias para las probetas falladas a los 3, 7, 14, 28 días para los porcentajes de ceniza de hoja de jacinto de agua de 0.08% y 0.16%.

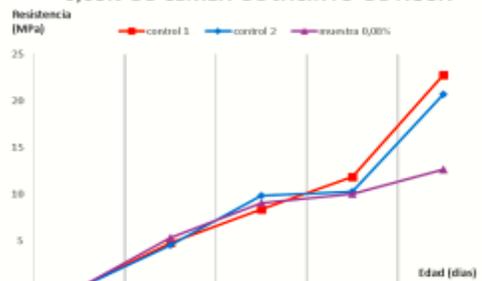
Se logra una buena adición de las cenizas de Jacinto de agua generando un crecimiento en la resistencia del concreto, mejorando sus propiedades mecánicas en los primeros días 3 y 7 días superando la resistencia de control, las fallas a los 14 y 28 días están por debajo de la resistencia del control.

Conclusiones

Se evidencia que las cenizas de jacinto de agua en el concreto a los 3 y 7 días supera la resistencia del control, pero a los 14 y 28 días no es un resultado esperado, ya que no supera la resistencia del control.

Las posibles razones por la cual la resistencia disminuye pueden ser; la composición química del cemento, la finura, la relación agua-cemento, la calidad de los agregados, las condiciones de temperatura ambiente y la eficiencia del curado.

GRÁFICA DE COMPARACIÓN CON 0,08% DE CENIZA DE JACINTO DE AGUA



GRÁFICA DE COMPARACIÓN CON 0,16% DE CENIZA DE JACINTO DE AGUA



Bibliografía

- Cáceres S, Quispe G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento.
- Escobar J, (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar.
- Mendoza A, Badajos J. (2018). Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210kg/cm²

Anexo 2: Póster Presentación semana de la ingeniería Corporación Universitaria Minuto de Dios.



Anexo 3: Parque la Florida Jacinto de agua



Anexo 4: Lavado del jacinto de agua.



Anexo 5: Secado del jacinto de agua en toallas absorbentes



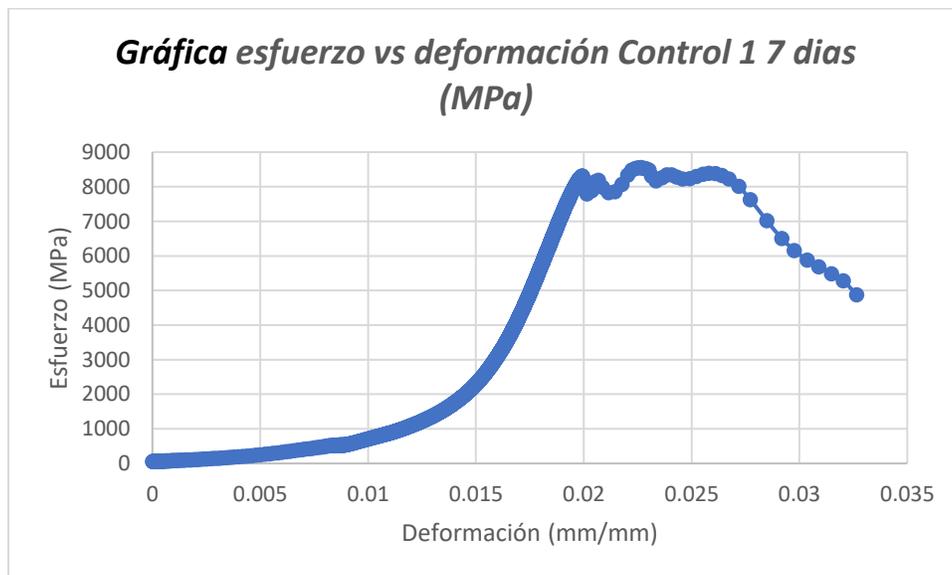
Anexo 6: Cenizas de jacinto de agua



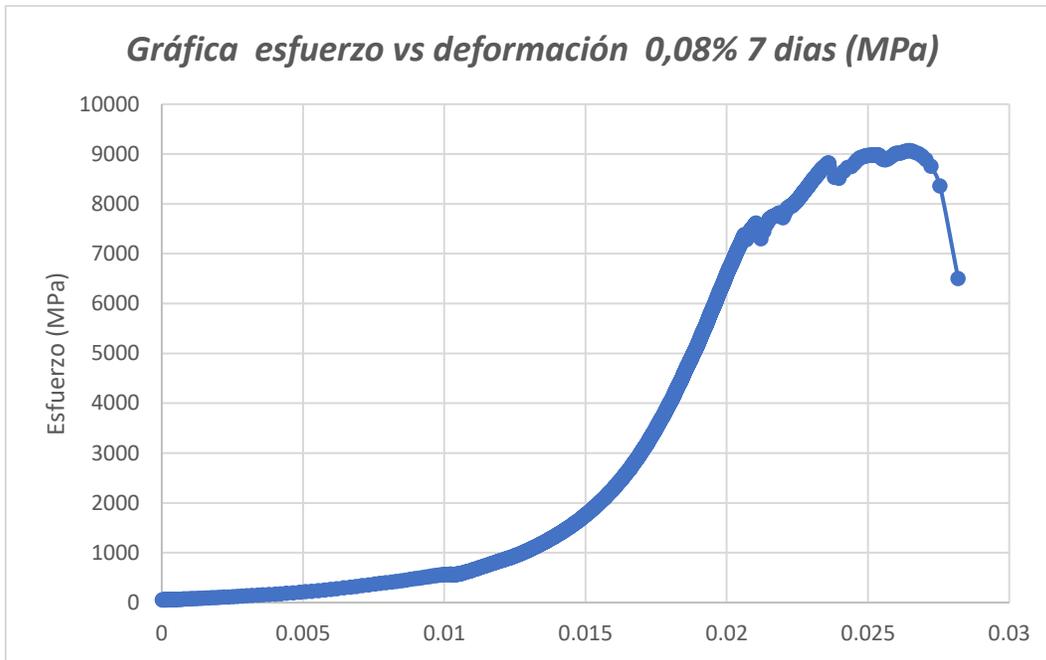
Anexo 7: Probeta de concreto fallada a compresión



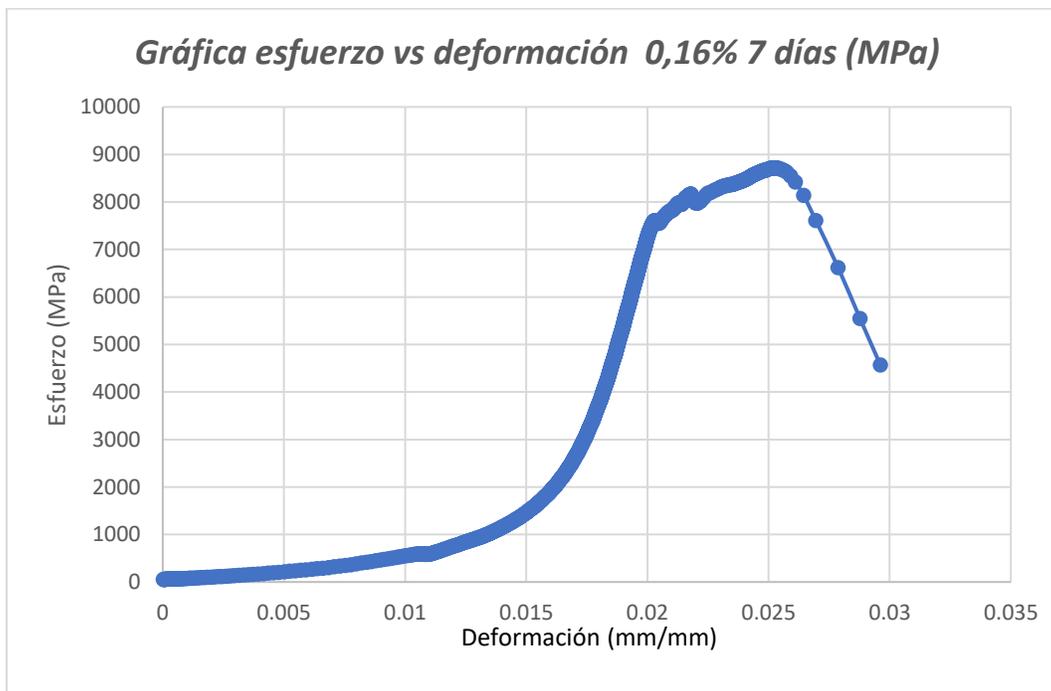
Anexo 8: Probeta de concreta fallada a compresión 2



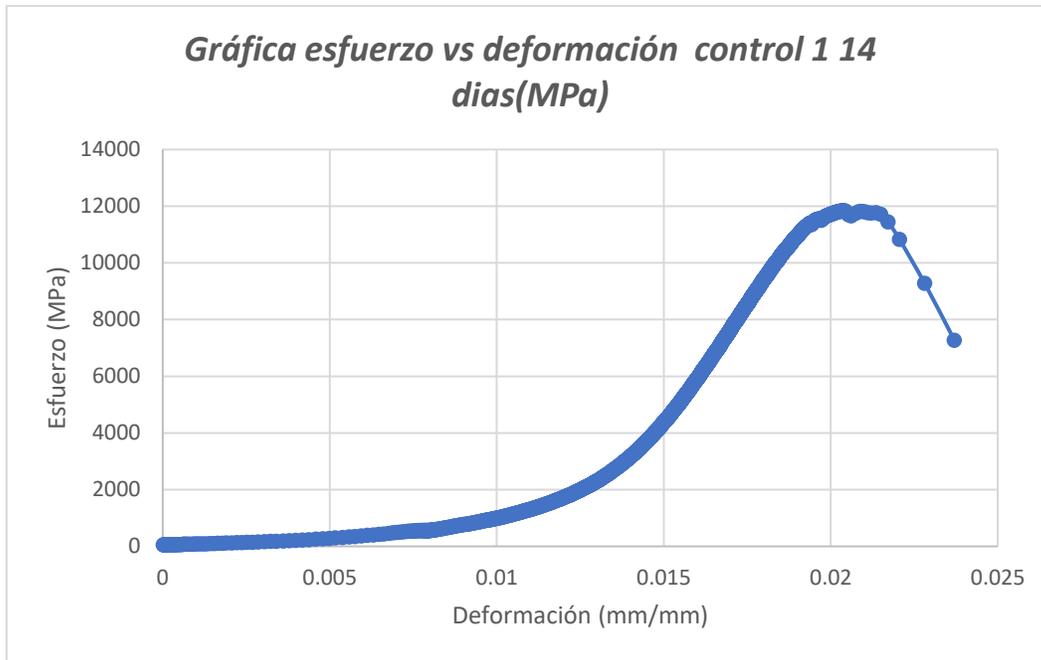
Anexo 9: Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 7 días



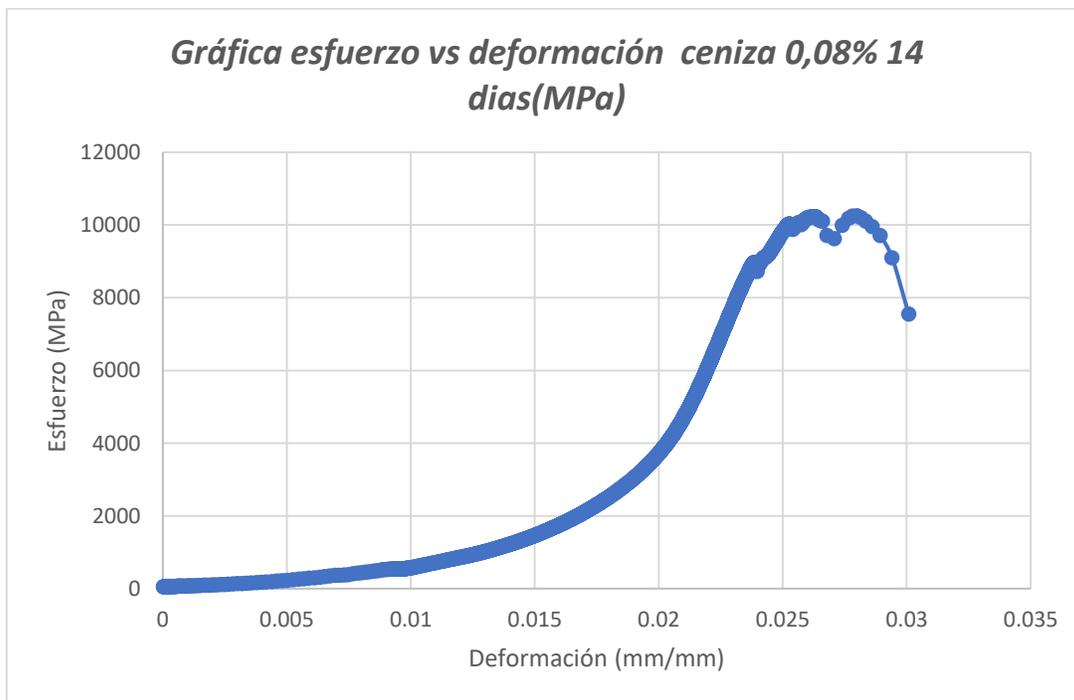
Anexo 10: Gráfica de Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 7 días



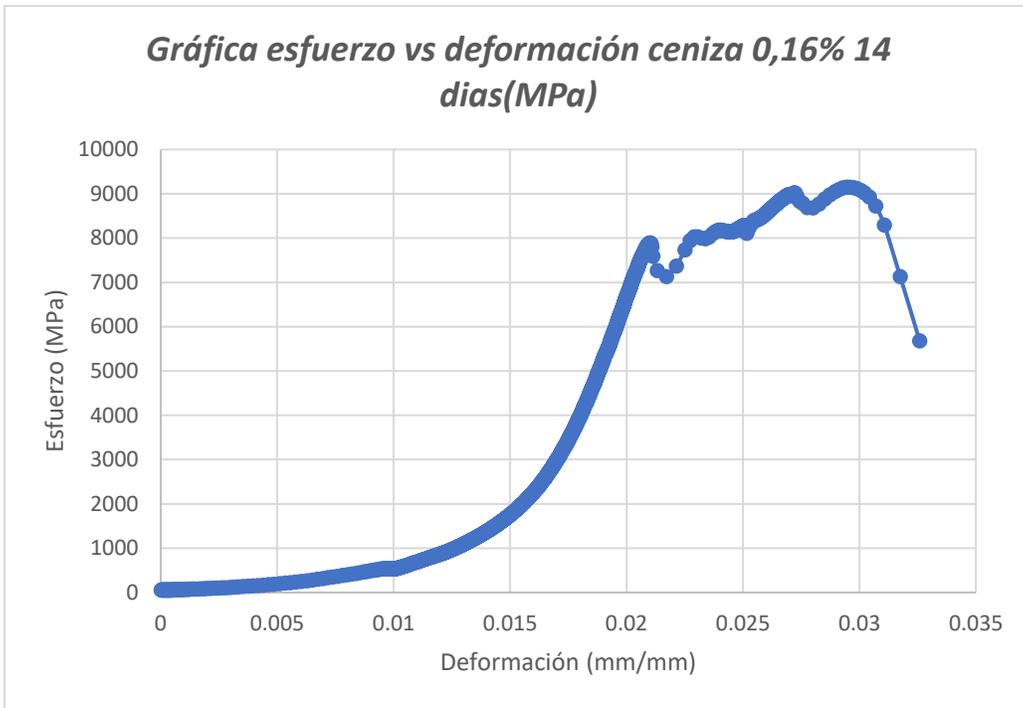
Anexo 11: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.16% esfuerzo vs deformación a los 7 días



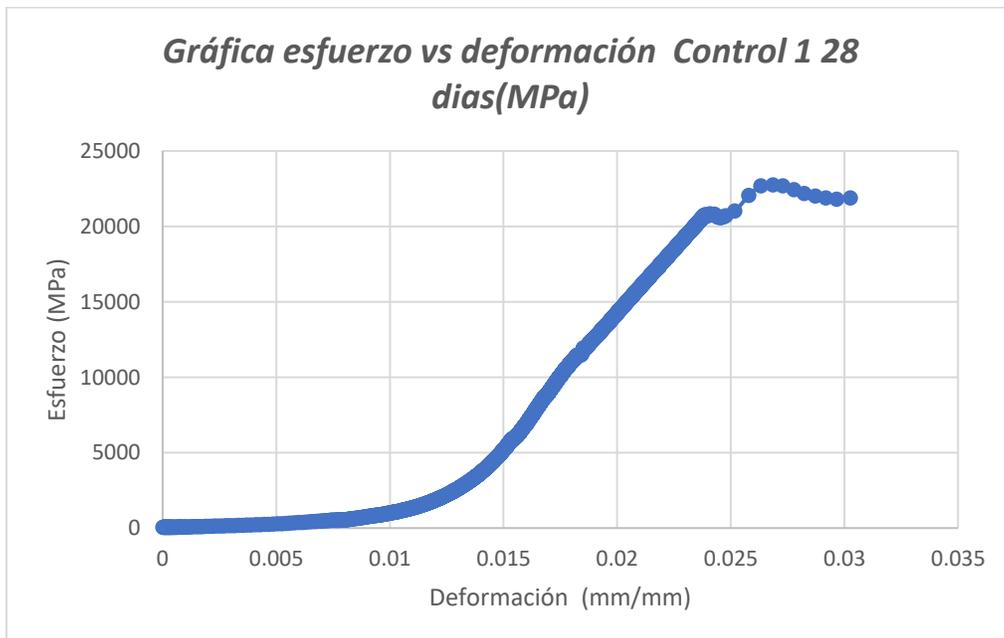
Anexo 12 Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 14 días



Anexo 13: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 14 días



Anexo 14: Gráfica Porcentaje de ceniza 0.08% esfuerzo vs deformación a los 14 días



Anexo 15: Gráfica Control esfuerzo vs deformación a los 28 días

Dosificación 0,08%				
Días	Muestra	Resistencia (psi)	Resistencia (KPa)	Resistencia (MPa)
3	Control 1	693,71	4783,96	4,78
	Control 2	662,38	4567,89	4,57
	Muestra 0,08%	774,66	5341,10	5,34
7	Control 1	1216,20	8386,00	8,39
	Control 2	1431,81	9872,00	9,87
	Muestra 0,08%	1315,23	9068,21	9,07
14	Control 1	1717,83	11844,31	11,84
	Control 2	1488,37	10262,89	10,26
	Muestra 0,08%	1454,77	10030,32	10,03
28	Control 1	3302,66	22771,05	22,77
	Control 2	3001,12	20692,01	20,69
	Muestra 0,08%	1836,25	12660,53	12,66

Anexo 16: Tabla datos del control y del porcentaje de ceniza 0.08%

Dosificación 0,16%				
Días	Muestra	Resistencia (psi)	Resistencia (KPa)	Resistencia (MPa)
3	Control 1	693,71	4783,96	4,78
	Control 2	662,38	4567,89	4,57
	Muestra 0,16%	769,83	5307,80	5,31
7	Control 1	1216,2	8386,76	8,39
	Control 2	1431,81	9872,08	9,87
	Muestra 0,16%	1264,41	8717,80	8,72
14	Control 1	1717,83	11844,31	11,84
	Control 2	1488,37	10262,89	10,26
	Muestra 0,16%	1327,74	9154,43	9,15
28	Control 1	3302,66	22771,05	22,77
	Control 2	3001,12	20692,01	20,69
	Muestra 0,16%	1671,99	11527,98	11,53

Anexo 17: Tabla datos del control y del porcentaje de ceniza 0.16%