



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Comportamiento mecánico de hormigones reforzados con fibras de carrizo y paja

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Yugcha Toapanta, Cristian Paul

**Tutor:**

Ing. Zarate Villacrés, Andrea Natali Mgs.

**Riobamba, Ecuador. 2025**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, CRISTIAN PAUL YUGCHA TOAPANTA, con cédula de ciudadanía 050378066-0, autor del trabajo de investigación titulado: COMPORTAMIENTO MECANICO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE CARRIZO Y PAJA, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 01 de julio de 2025.



Cristian Paul Yugcha Toapanta

C.I: 050378066-0

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **COMPORTAMIENTO MECANICO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE CARRIZO Y PAJA**, bajo a la autoría de CRISTIAN PAUL YUGCHA TOAPANTA; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; Riobamba a los 20 días del mes de Junio del 2025.



---

Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés, Mgs.

C.I: 060407977-2

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **COMPORTAMIENTO MECANICO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE CARRIZO Y PAJA** por CRISTIAN PAUL YUGCHA TOAPANTA, con cédula de identidad número 050378066-0, bajo la tutoría de Mgs. ANDREA NATALI ZARATE VILLACRÉS; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 27 de junio de 2025.

Mgs. Marcelo David Guerra Valladares  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



PhD. Oscar Alfredo Cevallos Velasquez  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Mgs. Raul Alexis Salazar Flores  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés Mgs.  
**TUTORA**





Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **CRISTIAN PAUL YUGCHA TOAPANTA** con CC: **0503780660**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **COMPORTAMIENTO MECANICO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE CARRIZO Y PAJA**", cumple con el 10%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de junio de 2025

Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés Mgs.

TUTOR(A)

## DEDICATORIA

Este presente trabajo se lo dedico a mi familia. Mis padres Manuel Yugcha y María Toapanta, quienes con su amor incondicional me apoyaron y me dieron todo el apoyo para poder conseguir este logro y encaminarme al camino del bien.

A mis hermanos Mónica, Gloria, Xavier, Alex, Erika, Manuel, Brayan, quienes han sabido ser mis guías y que me han apoyado en todas las decisiones que he tomado, a mi compañera de vida Liliana y a mi hija Meyli Yugcha que no me ha dejado solo y han sido mi apoyo.

A mi primo que a sido como un hermano más William Yugcha y Sr. Helmer Yugcha y Sra que me han aconsejado de buena manera para seguir siendo mejor persona.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por la vida que me dio y por todo lo que me está pasando en estos momentos.

A mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo y motivación en todo momento.

Gracias por su amor incondicional, su paciencia, su dedicación y su tiempo.

A mis hermanos que confiaron en mí les puedo decir si se pudo y que todos lograremos nuestros sueños y sacar una sonrisa a mis papas nada es imposible si metemos ganas y fe.

Con todo mi amor, agradezco a dos mujeres ejemplares que estuvieron conmigo a pesar de las dificultades mi compañera de vida y a mi hija que con sus ocurrencias me lleva a ser una gran persona un gran papá ya que con su influencia y sus ánimos lograre todas mis metas propuestas.

Este proyecto no solo representa la culminación de un esfuerzo individual, sino también el apoyo de la docente que fue de mucha ayuda en guiarme paso a paso con mi tema de trabajo, en fin, agradezco a todos aquellos que, de una forma u otra forma, contribuyeron a este viaje, y también a mi persona que metiendo esfuerzo y ganas llegaran más metas a mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Problema.....	17
1.2 Justificación .....	17
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 Descripción del Documento .....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Hormigones con fibras. ....	21
2.1.1 Fibras.....	23
2.1.2 Carrizo y paja de páramo .....	24
2.2 Estado del arte.....	26
2.3 Materiales empleados en las mezclas de hormigón .....	29
2.3.1 Cemento .....	30
2.3.2 Agregados o áridos .....	30

2.3.3 Agua.....	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	33
3.1 Alcance y tipo de investigación.....	33
3.2 Población y muestra.....	34
3.3 Diseño experimental.....	35
3.3.1 Toma de muestra y procesamiento de las fibras.....	36
3.3.2 Ensayos para la caracterización de las fibras de carrizo y paja de páramo.....	40
3.3.3 Ensayos para los materiales convencionales.....	41
3.3.4 Ensayos al hormigón.....	43
3.3.5 Resumen de ensayos realizados.....	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1. Caracterización de los materiales empleados.....	48
4.1.1 Fibras de carrizo.....	48
4.1.2 Paja de páramo.....	49
4.1.3 Áridos.....	51
4.1.4 Cemento.....	54
4.1.5 Agua.....	54
4.2 Ensayos y dosificaciones de las muestras de hormigón.....	55
4.2.1 Resultados a compresión con fibras de paja y carrizo independientes.....	58
4.2.2 Resultados a compresión con fibras de paja y carrizo combinadas.....	60
4.3 Ensayos y dosificaciones las mejores combinaciones.....	65
4.3.1. Resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días.....	66
4.3.2 Ensayo a tracción indirecta.....	68
4.3.3 Ensayo a flexión.....	69

4.4 Discusión .....	70
4.4.1 Caracterización .....	70
4.4.2 Dosificación.....	70
4.4.3 Fibras de carrizo .....	72
4.4.4 Fibras de paja de páramo.....	72
4.4.5 Combinación de fibras (paja + carrizo) .....	73
4.4.6 Porcentaje añadido y tamaño.....	74
4.4.7 Tracción y flexión.....	75
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS .....	80
Anexo 1. Informe de resistencia a tracción de la fibra de carrizo .....	80
Anexo 2. Informe de resistencia a tracción de la paja de páramo y el carrizo .....	81
Anexo 3. Ensayo a compresión a los 7 días de las primeras muestras .....	82
Anexo 2. Ensayo a compresión de los primeros 28 cilindros a los 7 días .....	82
Anexo 4. Ensayo a compresión de las muestras combinadas a los 7 días .....	91
Anexo 5. Resistencia a compresión de los mejores resultados a los 7, 14 y 28 días.....	93
Anexo 6. Carga aplicada a tracción indirecta de cilindros de 15x30 cm a los 28 días .....	100
Anexo 7. Carga aplicada a flexión de vigas de 15x15x60 cm a los 28 días .....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Materiales empleados en la elaboración de mezclas.....	42
<b>Tabla 2:</b> Ensayos a realizar a las probetas de hormigón. ....	43
<b>Tabla 3:</b> Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de espécimen .....	45
<b>Tabla 4.</b> Resumen primera dosificación.....	46
<b>Tabla 5.</b> Resumen segunda dosificación.....	46
<b>Tabla 6.</b> Resumen dosificación final .....	47
<b>Tabla 7:</b> Resultados del ensayo a tracción de la fibra de carrizo .....	48
<b>Tabla 8:</b> Resultados del ensayo a tracción de la paja de páramo .....	49
<b>Tabla 9.</b> Análisis integrado .....	51
<b>Tabla 10.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.....	52
<b>Tabla 11.</b> Análisis granulométrico agregado fino .....	53
<b>Tabla 12:</b> Dosificación para la mezcla de hormigón sin adición de fibras .....	56
<b>Tabla 13:</b> Dosificación empleada para los primeros 14 cilindros con fibras de carrizo .....	56
<b>Tabla 14:</b> Dosificación empleada para los primeros 14 cilindros con paja de páramo .....	57
<b>Tabla 15.</b> Resumen de la resistencia a compresión de las 28 probetas de paja y carrizo .....	58
<b>Tabla 16:</b> Dosificación empleada para la combinación de fibras de carrizo y paja de páramo .....	61
<b>Tabla 17:</b> Resultados a compresión para la combinación de fibras de carrizo y paja de páramo .....	62
<b>Tabla 18:</b> Dosificación empleada con fibras de carrizo para la probeta de 10 cm x 20 cm ....	65
<b>Tabla 19:</b> Dosificación empleada con fibras de carrizo para la probeta de 15 cm x 30 cm .....	65
<b>Tabla 20:</b> Dosificación empleada con fibras de carrizo para la viga de 15cm x 15cm x 60cm .....	66
<b>Tabla 21:</b> Resistencia a compresión de los cilindros de 10 cm x 20 cm .....	67
<b>Tabla 22.</b> Resultados del ensayo a tracción en cilindros de 15 x 30cm.....	68
<b>Tabla 23.</b> Resultados del ensayo a flexión en vigas de 15 x 15 60 cm.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación y características de las fibras en el hormigón .....	23
<b>Figura 2.</b> Esquema del proceso de investigación .....	33
<b>Figura 3:</b> Presentación y ubicación del carrizo .....	36
<b>Figura 4:</b> Proceso de corte y desfibrado del carrizo .....	37
<b>Figura 5:</b> Parafina empleada para tratar las fibras.....	38
<b>Figura 6:</b> Proceso de curado de la fibra de carrizo con parafina.....	38
<b>Figura 7:</b> Fibra de carrizo curada .....	38
<b>Figura 8:</b> Presentación y ubicación de la paja de páramo.....	39
<b>Figura 9:</b> Materiales empleados en la mezcla de hormigón.....	42
<b>Figura 10:</b> Procedimiento seguido para realizar la mezcla de hormigón .....	44
<b>Figura 11:</b> Modelos típicos de fallas de los cilindros durante los ensayos de resistencia .....	45
<b>Figura 12:</b> Ensayo a tracción de la fibra de carrizo.....	49
<b>Figura 13:</b> Ensayo a tracción de la paja de páramo.....	50
<b>Figura 14:</b> Curva Granulométrica del árido grueso.....	53
<b>Figura 15:</b> Curva Granulométrica del árido fino.....	54
<b>Figura 16:</b> Instrumentos para el ensayo de cono de Abrams .....	55
<b>Figura 17:</b> Ensayo de cono de Abrams.....	55
<b>Figura 18.</b> Curado de las 28 probetas de hormigón.....	58
<b>Figura 19.</b> Resistencia a compresión a los 7 días de las muestras con fibra carrizo .....	59
<b>Figura 20.</b> Resistencia a compresión a los 7 días de las muestras con paja de páramo .....	60
<b>Figura 21.</b> Resistencia a compresión de las muestras combinadas .....	63
<b>Figura 22:</b> Probetas con fibra de carrizo, combinado paja + carrizo y paja luego de ser ensayadas .....	64
<b>Figura 23:</b> Comportamiento a compresión de las mezclas de hormigón a diferentes edades .	67
<b>Figura 24.</b> Esfuerzo máximo a tracción y peso de los cilindros de 15 x 30 cm.....	68
<b>Figura 25.</b> Esfuerzo máximo a flexión y pesos en vigas de 15 x 15 x 60 cm.....	69

## RESUMEN

La presente investigación se centra en evaluar el potencial de la fibra de carrizo y paja de páramo como refuerzo natural en mezclas de hormigón, con el objetivo de evaluar la incidencia en sus propiedades mecánicas. El estudio inicia con la caracterización mecánica de la fibra de carrizo y paja de páramo, determinando parámetros como resistencia a la tracción, longitud, diámetro. Posteriormente estas son tratadas con parafina y se incorporaron diferentes porcentajes de fibra (2%, 3%, 4%) y a diferentes longitudes (2, 5 y 8 cm) en mezclas de hormigón convencional. Con los mejores resultados se realiza una combinación de dichas fibras y también se determina su resistencia a compresión a los 7 días.

Luego se evalúan los mejores valores de resistencia para elaborar nuevas probetas para ensayarlas a tracción, flexión y compresión, pero esta vez a los 7, 14 y 28 días. Se comprueba que ninguna de las dosificaciones propuestas supera los valores de referencia planteados, sin embargo, se muestra que las dosificaciones con fibras de paja muestran un comportamiento a compresión ligeramente mejor que aquellas donde se incluye la fibra de carrizo. En el caso de la resistencia a tracción y a flexión del hormigón, el carrizo añadido en un 2% presenta los mejores resultados, asociado quizás a las mejores propiedades presentadas a tracción por dicha fibra, llegando incluso a valores próximos al 70% de la muestra patrón. El peso de la masa de hormigón también resulta interesante pues se observa una disminución en la medida que aumenta el contenido de fibra, pero en ninguna de las combinaciones analizadas se disminuye en más del 5% respecto a la muestra de referencia.

**Palabras claves:** hormigón patrón, fibras de paja, fibras de carrizo, tracción, compresión, tracción indirecta, flexión.

## Abstract

This research focuses on evaluating the potential of reed and paramo straw fibers as natural reinforcements in concrete mixtures to assess their impact on the mechanical properties of the concrete. The study begins with the mechanical characterization of reed and paramo straw fibers, determining parameters such as tensile strength, length, and diameter. These fibers are then treated with paraffin, and different fiber percentages (2%, 3%, and 4%) and different lengths (2 cm, 5 cm, and 8 cm) are incorporated into conventional concrete mixtures. With the best results, a combination of these fibers is made, and their compressive strength is determined after 7 days. The best strength values are then evaluated to prepare new specimens for tensile, flexural, and compression testing, but this time at 7, 14, and 28 days. It is also verified that none of the proposed dosages exceeds the reference values. However, it is shown that the dosages with straw fibers exhibit slightly better compression behavior than those with reed fiber inclusion. In the case of the tensile and flexural strength of the concrete, the reed added at 2% presents the best results, perhaps associated with the better tensile properties presented by said fiber, even reaching values close to 70% of the standard sample. The weight of the concrete mass is also noteworthy, as a decrease is observed with increasing fiber content; however, in none of the analyzed combinations, it decreases by more than 5% compared to the reference sample.

*Keywords:* pattern concrete, straw fibers, reed fibers, tension, compression, indirect tension, bending.

### Reviewed by:



**Lcda. Yesenia Merino Uquillas**  
**ENGLISH PROFESSOR**  
**0603819871**

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los hormigones son aquellos compuestos que están formados por un aglomerante, que puede ser de diversa índole desde: barro y tierra, hasta cales o cementos ya sea natural o artificial; además de ello, poseen áridos de dimensión, arena para los morteros y arena y grava para los hormigones; así como agua, que también juega un papel fundamental en el comportamiento adecuado de la mezcla desde su consistencia inicial hasta su resistencia final (Varas, Álvarez y Fort, 2007).

Con el transcurso del tiempo, según Fernández (2004) las investigaciones relacionadas al cemento, morteros, hormigón, hormigón armado, etc., han incrementado, considerando que el hormigón como tal y el cemento son uno de los materiales de mayor relevancia dentro de la industria de la construcción (citado en Llerena, 2014).

En este contexto, los estudios se acercan a la manera de mejorar su comportamiento considerando una de sus mayores debilidades la tracción y la flexión, buscando nuevas dosificaciones e incluso aditivos o materiales que mejoren el comportamiento mecánico y las prestaciones del hormigón (Llerena, 2014). Además, en la actualidad, la obligación de enfrentar los retos ambientales y económicos ha motivado a la exploración de opciones más sostenibles y eficaces. Estas alternativas no solo deben adherirse a los estándares convencionales de ingeniería, sino que también buscan disminuir la huella de carbono y utilizar recursos renovables (Martin Sendra, 2020) citado en (Albarracín et al., 2024).

Siendo así, se intenta alcanzar un hormigón reforzado con fibras, al incorporar fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa que tienen por objetivo estudiar su comportamiento (Ministerio de Fomento, 2008) (citado en Peralta, 2021).

Por tanto, las investigaciones se enfocan en torno a las fibras vegetales, fundamentalmente por su bajo coste económico y reducido impacto ambiental, en comparación a las fibras sintéticas (Llerena, 2014). En este sentido, Quintero y González (2016) refuerzan esta afirmación, sobre la idea de que el hormigón es un material compuesto, que, para que sea sostenible, se deben emplear materiales de refuerzo con un perfil ecológico como lo son las fibras naturales vegetales (citado en Martín, 2021), las cuales constituyen una buena opción, pues su cultivo y extracción son más amigables desde el punto de vista medioambiental (Martín, 2021).

En tal sentido las fibras de carrizo se han destacado como una alternativa prometedora para el refuerzo de estructuras de hormigón. Esta planta, conocida científicamente como *Phragmites*

*australis*, es considerada invasora y se desarrolla de manera rápida y abundante en ríos y vías fluviales, lo que puede generar importantes problemas ecológicos (Machaka *et al.*, 2022). Sin embargo, las fibras de carrizo poseen propiedades mecánicas excepcionales que pueden incrementar tanto la capacidad de carga como la resistencia a la flexión de vigas de hormigón. Además, su uso presenta ventajas ambientales, ya que se trata de un recurso renovable (Pérez Gómez Martínez *et al.*, 2021, citado en Albarracín *et al.*, 2024).

Al respecto, en el Ecuador se han desarrollado algunas investigaciones similares; tales como la de Chávez, (2017) que estudió la influencia que tiene la ceniza de *Phragmites australis* (carrizo) en las propiedades físicas-mecánicas del concreto hidráulico en el diseño de pavimento rígido. Para ello incluyó la ceniza en proporciones de 4 % y 8 % comprobando que estas combinaciones resultaron ser 21.21 % y 5.61 % superior al patrón respectivamente.

Bastidas y Verdezoto (2021) estudiaron en Quito el efecto de la “paja toquilla” en hormigones simples de 21 MPa, comprobando que las mejores prestaciones se obtienen con la incorporación del 0.2% de fibras e infiriendo, según la curva de resultados, que la dosificación óptima sería de 0.17%. Señalan también que la fibra vegetal trabaja mejor a flexión que a compresión recomendando su uso en hormigones rígidos para vías.

Destaca además el estudio realizado por Albarracín y Arias, (2024) quienes valoraron el comportamiento de vigas de hormigón convencional respecto a vigas con la inclusión de fibras de carrizo en la provincia de Azuay. Luego de la realización de varios ensayos comprobaron que las vigas con fibras de carrizo trenzadas disminuyen las fisuras en las vigas, e incrementan su resistencia a partir de los 14 días. Concluyen además que el hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo no resulta factible pues disminuye su resistencia a compresión y flexión y que los costes de fabricación se encuentran debidamente justificados por las buenas prestaciones que presentan las vigas con fibras trenzadas de carrizo.

Por otro lado, el desarrollo de la industria trae aparejado grandes desafíos como es la reducción de contaminantes. Diseñar y construir estructuras que proporcionen reducción de gastos y la mitigación de impacto mediambiental representa sin duda una problemática con grandes implicaciones para el planeta. Apremia la búsqueda de soluciones y de materiales alternativos, que constituyan una fuente de energía no agotable, o al menos con alto potencial para regenerarse, a lo cual corresponde el uso de la fibra de carrizo y la paja de páramo.

Cabe destacar que pese a los resultados obtenidos en diferentes investigaciones relacionado con la temática, para algunos autores como Bernaola, (2021); Zerbino, (2020) y Geremew et al., (2021) el empleo del hormigón no convencional haciendo uso de fibras naturales puede traer incertidumbre en cuanto a resistencia, durabilidad, reducción de fisuras por retracción, así como la disposición y porcentaje óptimo a añadir a la mezcla.

## **1.1 Problema**

Se ha contextualizado el uso de las fibras naturales en el hormigón destacando las fibras de carrizo y paja por su abundancia en el contexto local. Diferentes investigaciones relacionadas con la temática, como la de Bernaola, (2021); Zerbino, (2020) y Geremew et al., (2021) plantean que el empleo del hormigón no convencional haciendo uso de fibras naturales puede traer incertidumbre en cuanto a resistencia, durabilidad, reducción de fisuras por retracción, así como la disposición y porcentaje óptimo a añadir a la mezcla, de ahí que profundizar en torno al tema resulta muy apropiado en los contextos ingenieriles actuales.

Al emplear dichas fibras los constructores no suelen tener en cuenta sus propiedades por lo que crea una incertidumbre al elaborar el hormigón (Tovar Bernaola, 2021). Todo ello provoca que, por un gran periodo de tiempo, el uso de hormigón reforzado con fibras se encontrará limitado por la no existencia de recomendaciones de cálculo estructural, pues se depende de experiencias previas, o sea, prueba y error, así como, sugerencias de los productores de la fibra en sí (Zerbino, 2020) citado por (Albarracín et al., 2024). Pues el comportamiento mecánico del hormigón empleando fibras de paja y carrizo no ha sido estudiado a gran profundidad en el entorno ecuatoriano por lo que apremia la búsqueda de soluciones y de materiales alternativos, sustentables económicamente para la zona y el medio ambiente por lo que las fibras de carrizo y paja destacan como potenciales en la región.

## **1.2 Justificación**

El hormigón reforzado con fibras parte del punto que el cemento por sí solo carece de la resistencia mecánica suficiente para soportar esfuerzos flectores a los que puede encontrarse sometido elementos estructurales o de luz considerable, incluso elementos delgados de fachada (Llerena, 2014), lo cual puede ocasionar que las empresas constructoras busquen un refuerzo con ciertas estructuras como barras de acero o mallados, lo cual genera un material compuesto, donde se tiene una fibra y una matriz. En el caso de las fibras de origen metálico como el acero deben ser

protegidos de la corrosión con las mezclas de hormigón, lo que produce que las piezas resultantes tengan un espesor grande y exista un desgaste de material; que a su vez ocasiona la elevación de precio considerablemente debido al excesivo gasto de material (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2018).

Además de ello se puede acotar que las barras de acero resultan costosas y elevan considerablemente los gastos en los materiales, además del riesgo y la poca durabilidad que presentan cuando se encuentran en climas agresivos como zonas costeras o de elevada humedad relativa.

En este contexto, se han incrementado los estudios sobre la forma de mejorar el comportamiento, en donde los esfuerzos se direccionan para alcanzar una matriz de concreto que mejore la resistencia en los diferentes modos de carga permitiendo controlar la retracción plástica y una fibra que sea sostenible en el contexto local y al mismo tiempo resulte económica. Es allí donde investigadores buscan nuevas composiciones, aditivos o materiales que refuercen el hormigón destacando en el entorno contemporáneo las fibras de vidrio, por su elevada resistencia y las fibras de origen vegetal por su bajo costo y bajo impacto ambiental.

Adicionado a ello, la investigación realizada por Mendoza y Vanga (2020), sobre el conocimiento que poseen los técnicos con experiencia de la ciudad de Portoviejo, sobre el desarrollo sostenible aplicado a la construcción en el quehacer de la profesión, refleja que no existe una aplicación concreta de construcción sostenible. Además, es poco probable que se alcancen los objetivos globales de desarrollo sostenible debido a varios factores. Entre ellos se encuentran la falta de conocimiento técnico sobre el uso de materiales renovables, el escaso interés por parte de los constructores, la existencia de normativas legales que, aunque promueven el cuidado del medio ambiente de manera teórica, no son efectivamente aplicables, y la ausencia de incentivos. Todo esto resulta en pérdidas significativas para el medio ambiente, ya que los contaminantes generados en los procesos de construcción deberían ser considerados como parte de un enfoque integral que favorezca un sistema de construcción sostenible y sustentable.

En consecuencia, la presente investigación se enfoca en analizar el comportamiento mecánico de hormigones reforzado con fibras de carrizo y paja, a través del método de investigación experimental. Este proyecto pretende estudiar cómo las fibras de carrizo y la paja influyen en el comportamiento mecánico del hormigón. De esta forma se presentan estos

materiales naturales como una alternativa sostenible en el área de la ingeniería civil y la construcción.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con la adicción de fibras de carrizo y paja.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las fibras de paja y carrizo como material alternativo.
- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja (*stipa ichu*) y carrizo (*Phragmites australis*) en el comportamiento mecánico del hormigón.

### 1.4 Descripción del Documento

El presente proyecto de investigación se desarrolla en cuatro capítulos, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

En el **Capítulo I**. Introducción, se hace una breve mención a los antecedentes del tema a estudiar, así como la importancia que posee el estudio. Se exponen además los objetivos que persigue la investigación.

El **Capítulo II**. Marco teórico, presenta una revisión bibliográfica relacionada con el tema de investigación, lo cual permite establecer el marco teórico referencial. Para conocer los antecedentes de la investigación, así como aspectos conceptuales y característicos claves para el desarrollo de la misma. Se realizó una revisión bibliográfica en repositorios digitales de distintas universidades, así como en bases de datos bibliográficos en línea como Scopus, Scielo y Google Académico. La recopilación de la información encontrada permitió establecer información relevante sobre hormigones reforzados con fibras, en particular la fibra de carrizo y la paja. También permitió establecer bases para conocer propiedades, comportamiento y los materiales necesarios para el diseño.

En el **Capítulo III**. Metodología, se describe la metodología a seguir, con la de caracterización de todos los materiales que se usarán en la investigación mediante ensayos de laboratorio siguiendo la normativa vigente para conocer las propiedades físicas de las fibras de carrizo y paja. Luego, se describen las dosificaciones necesarias para las diferentes mezclas

abordadas en este proyecto. Posterior a esto se realiza el procedimiento experimental de todas las actividades que se desarrollan a lo largo del proyecto.

Posteriormente, en el **Capítulo IV. Resultados y discusión**, se encuentran los resultados de la caracterización física de la fibra de carrizo y paja de paramo, de igual forma los resultados de la caracterización de los agregados. Se muestran los resultados de las propiedades de las diferentes mezclas, como resistencia a la compresión, tracción indirecta. Una vez obtenidos los resultados se plantea una discusión de estos para interpretar y analizar los aspectos más relevantes de la presente investigación.

Finalmente, se plantean las **Conclusiones y recomendaciones**; en base a los objetivos planteados en la investigación se da a conocer las conclusiones obtenidas en el proyecto tanto en la caracterización de las fibras de carrizo y paja, y del mejor comportamiento mecánico obtenido de las fibras sea en comportamiento a compresión, tracción y a flexión.

Luego se expone la **bibliografía** empleada para llevar a cabo esta investigación. Estas referencias se asentaron de acuerdo con lo establecido en las Normas APA 7ma edición.

En el último apartado se encuentran los **anexos**, donde se podrá observar las propiedades de los agregados obtenidos de pruebas de laboratorio, tablas que detallan todas las propiedades obtenidas según las diferentes mezclas con la inclusión de fibras y paja.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo aborda una serie de estudios que sirven de antecedentes y constituyen la base de fundamentación empleada en la presente investigación. Además, se realiza una caracterización teórica de los materiales que serán utilizados, tales como el hormigón y sus componentes, así como las fibras alternativas de paja y carrizo. Todo ello, por la importancia que tiene conocer las propiedades y características de los mismos, de manera general, para así comprender mejor el funcionamiento que juegan cada una de ellas dentro del material compuesto.

### 2.1 Hormigones con fibras.

El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF), se ha posicionado como una de las innovaciones más relevantes en el campo de los hormigones especiales. El HRF es entendido como un hormigón que incluye en su composición fibras cortas y discretas, distribuidas aleatoriamente en su masa (Álvarez 2016). Comenta Ouedraogo y Zapata, (2014) que los estudios desarrollados a partir de fibras de materiales como: acero, vidrio, fibras sintéticas y fibras orgánicas han arrojado que el empleo de las fibras en general mejora las propiedades mecánicas del hormigón y esto depende del tipo de fibras, su resistencia, orientación y cantidad.

Refiere Martín, (2021) que “los HRF nacen de la necesidad de obtener un material mejorado, al incorporar las fibras cortas y desordenadas en su masa se produce una mejora de las propiedades del hormigón” (p. 9). Dependiendo del tipo de fibra utilizado se puede obtener un mejor comportamiento frente a distintas sollicitaciones, como el fuego, el agua, la resistencia mecánica, fisuras u otros daños.

Este autor hace énfasis en que la matriz, es el componente esencial que surge en fase continua y actúa como ligante. Por lo general es un material menos resistente que el material de refuerzo que proporciona estabilidad al conjunto al transmitir las cargas producidas a este. También brinda cohesión, evita problemas, protege y mantener alineadas las fibras de refuerzo.

La matriz se comporta de diferente manera dependiendo de cómo sea la carga que actúa sobre ella. En el caso del HRF, cuando el esfuerzo realizado es a compresión, la matriz es la encargada de soportar el esfuerzo. Sin embargo, cuando el esfuerzo es a tracción la matriz transfiere la carga a las fibras para que sean ellas las encargadas de soportarlo (Fenollar, 2020) citado en (Martín, 2021).

El componente que aparece en fase discontinua es el refuerzo, que al agregarse a la matriz contribuye a elevar las propiedades resistentes y asume la resistencia en aquellos elementos que la

matriz no es capaz de soportarlo. La forma de incorporación es variada: puede ser en forma de fibras, partículas, barras, trenzadas, cuando es el caso del refuerzo para elementos estructurales. Es usual que a menor tamaño de las partículas y más homogénea estén distribuidas más efectivo será el comportamiento del material compuesto en sí (Cortés y Molina, 2014, citado en Martín, 2021).

La capacidad que una fibra tiene para reforzar está relacionada con el grado en que los esfuerzos son transferidos a la matriz, que, a la vez, dependen de las propiedades intrínsecas de las fibras, como la resistencia a tensiones y la resistencia frente a deformaciones, que debe ser superior a la de la matriz para evitar grietas. El alargamiento de rotura, la adherencia, la capacidad de absorción, la densidad y el diámetro son otras propiedades relevantes para el estudio de las fibras, ya que son las que determinan si una fibra es adecuada o no (Quintero y González, 2020)

Según Martín (2021) entre algunas de las ventajas que presentan los HRF frente a los no reforzados son: control de la fisuración, mejoras en la durabilidad, aumento de la resistencia al impacto, aumento de la resistencia a la abrasión reducción de los espesores en las construcciones, aplicación más simple y rápida, disminución de los costes de mano de obra, y eliminación del mallado.

Es importante considerar que, a la hora de añadir fibras al hormigón, hay que tomar en cuenta algunos factores como puede ser el porcentaje de adición, una incorporación demasiado elevada puede llegar a influir de manera negativa en el resultado final. La relación agua – cemento – fibras, influye en la porosidad final de la mezcla y por lo tanto en su comportamiento. La forma y disposición de las fibras incorporadas también influye en la trabajabilidad y efectividad del hormigón (Álvarez, (2016), citado en Martín, 2021).

Las fibras son fragmentos de compuestos cuya longitud es mayor a su diámetro. Por lo general, pueden tejerse o desmembrarse para producir hilos o cuerdas que suelen ser usados en la industria textil, aunque tienen otras aplicaciones como, por ejemplo, el refuerzo para *composites* (Martín,2021).

Por otro lado, Geremew et al., (2021) adiciona que en las fibras naturales presentan una serie de ventajas respecto a las fibras artificiales en aspectos tales como la accesibilidad, menor costo, baja densidad, buena relación módulo-peso, capacidad de amortiguación acústica elevada, menor consumo de energía en su producción industrial. Además, incluyen Pérez et al., (2023) y

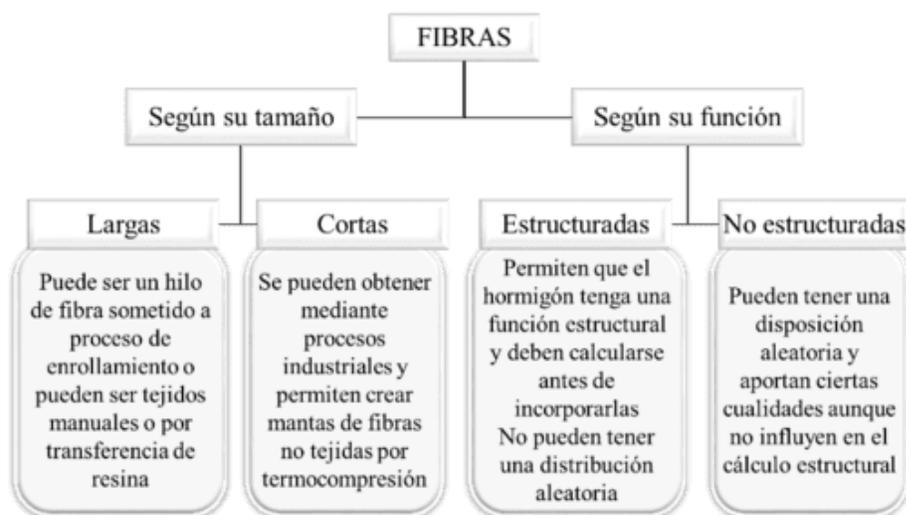
Thyavihalli Girijappa et al., (2019) que estas fibras presentan la opción de ser sostenibles, renovables y biodegradables.

Geremew et al., (2021) menciona que la similitud de las fibras naturales en cuanto a baja densidad y propiedades mecánicas específicas es alta en comparación a las de los refuerzos tradicionales. Por ende, sus características intrínsecas pueden satisfacer las demandas del mercado internacional. Así mismo mejoran las características y propiedades del hormigón en la fabricación de vigas con fibras ecológicas tales como carrizo o vidrio residual (Reyes Antileo et al., 2022).

### 2.1.1 Fibras

Uno de los principales retos que existen en cuanto al tema que se aborda es la determinación del porcentaje óptimo a añadir para mejorar las prestaciones del hormigón. Como ya se ha mencionado y según revela Álvarez, (2016) que, al añadir fibras al hormigón, es necesario considerar que algunos factores como la cantidad puede tener influencia negativa en el resultado final. Otro factor a tener en cuenta es la relación agua – cemento – fibras, este incide en la formación de poros final de la mezcla y como consecuencia en su comportamiento. Además, la forma y disposición de las fibras incorporadas también determina la trabajabilidad y efectividad del hormigón. En la Figura 1 se puede observar un resumen de la clasificación y características que poseen las fibras en el hormigón según lo planteado por Martín (2021) y Álvarez (2016)

**Figura 1.** Clasificación y características de las fibras en el hormigón



**Fuente:** Elaboración propia adaptado de Martín (2021) y Álvarez (2016)

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, puede decirse que las fibras a emplear en la presente investigación, de acuerdo a su función, tienen un carácter no estructurado, pues estas serán dispuestas aleatoriamente en la mezcla de hormigón. Por ello, su cantidad no es calculada como en el caso del acero, pues el aporte que hacen desde el punto de vista estructural se reduce a la resistencia que aporta el hormigón. En el caso del tamaño, a opinión del autor de la presente investigación, la clasificación sería como fibras cortas. Según lo planteado por los autores Martín (2021) y Álvarez (2016), esta clasificación se ajusta más a una fibra obtenida de procesos industriales, que incluso podría agregarse la categoría de microfibras pues también se han encontrado bibliografías que amparan su uso en el hormigón. Sin embargo, las fibras a emplear en este estudio serán obtenidas manualmente con dimensiones de 2, 5 y 8 cm por lo que pueden considerarse fibras cortas en la mezcla de hormigón.

### **2.1.2 Carrizo y paja de páramo**

El carrizo o *Phragmites Australis*, como ya se ha mencionado, según Carranza y Tasilla (2022) es una planta perteneciente a la familia *Poaceae* o gramíneas. También se conoce como caña o caña común y tiene ciertas similitudes con el bambú. De cada nudo, sale una única hoja que cubre el tallo y puede alcanzar los 4 metros de altura como máximo y 2 cm de diámetro. Crece en humedales, de forma abundante.

Destaca Machaka *et al.* (2022) que esta planta se ha reutilizado frecuentemente desde tiempos remotos en varias áreas de la construcción. Debido a su capacidad de crecimiento rápido, sus propiedades únicas y su revestimiento de silicona en el tallo, en particular, no absorbe agua ni humedad, lo que lo hace adecuado para su uso en la construcción de paredes, tabiques, cercas y material aislante. Bautista *et al.* (2022) comentan que debido al gran contenido de calcio y silicio pueden incrementar la durabilidad del concreto pues esta composición química hace que el cemento alcance una actividad puzolánica mayor según se plantea en la Norma ASTM – C150.

Los investigadores Rawan *et al* (2023) y Machaka *et al* (2022) resaltan el alto potencial que presenta la planta con la elevada posibilidad de ser aprovechada como una fuente de productos de alto valor biodegradable y renovable, como biocombustibles y materiales de construcción, lo que contribuye a una gestión económica y sostenible de la contaminación del agua y las aguas residuales, así como a la producción de hormigón sostenible.

Por su parte, la paja de páramo (*stipa ichu*), según Izco *et al.*, (2007) es muy codiciada por su capacidad de retención de líquidos y producción de humedales. Proviene de plantas del ecosistema de páramos puede ser una alternativa ecológica y económica para fortalecer el hormigón. Añade Chanastasig (2020) que la paja posee potencial para generar aislamiento térmico, por lo que ha sido útilmente empleado en la bioconstrucción. Además, se considera dentro de los materiales que pueden ser inmediatamente renovables, pues en poco tiempo crece y madura. Otra de las ventajas que presenta esta fibra vegetal, según expresa Ecohabitar (2014) es que para procesarla no requiere de mucha energía, razón por la que se considera dentro de los materiales con rasgos de sostenibilidad.

Al igual que otras fibras empleadas en el hormigón, estas pueden mejorar aspectos como la resistencia a grietas y la durabilidad, además de reducir la dependencia de materiales sintéticos o artificiales, como expresa Geremew *et al.*, (2021). A decir por los investigadores Martínez *et al.*, (2023) y Thyavihalli Girijappa *et al.*, (2019), este tipo de fibras naturales, como la paja de páramo, también ofrecen ventajas adicionales, incluyendo su bajo costo, disponibilidad en zonas locales, biodegradabilidad y menor impacto ambiental en comparación con fibras hechas de materiales artificiales.

Como expresa Martín, (2021) el rendimiento de estos elementos, en el hormigón reforzado, al igual que las fibras está influenciado por factores como su forma, tamaño, distribución y la cantidad que se incorpora en la mezcla, ya que estos aspectos afectan la facilidad de trabajo y la capacidad de transmitir esfuerzos a través de la fibra. Comenta Reyes *et al.*, (2022), que es importante considerar la compatibilidad de la fibra con la matriz de cemento y su resistencia a la humedad para asegurar un buen desempeño del material reforzado.

En el estudio realizado por Iza (2017) se hace alusión al tamaño de la planta, la misma posee entre 0.5 a 0.8mm de diámetro y su tallo puede alcanzar una longitud entre 22 a 55 cm. Por otro lado, García *et al.*, (2020) añade que esta planta tiene varias características físicas y mecánicas que la hacen atractiva para su utilización en la construcción y en procesos de refuerzo. Desde el punto de vista físico, es ligera debido a su baja densidad y además es biodegradable, lo que favorece su impacto ambiental positivo. Sin embargo, su alta capacidad de absorción de agua puede influir en su durabilidad si no se le aplican tratamientos adecuados.

En cuanto a sus propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción de la paja de páramo es moderada y puede variar según el método de secado y tratamiento que reciba. También destaca

por su flexibilidad y capacidad de elongación, lo que le permite adaptarse a diferentes mezclas de cemento o hormigón. Aunque su resistencia no es tan alta como la de fibras sintéticas, su uso en porcentajes controlados puede mejorar ciertas propiedades sin poner en riesgo la estabilidad estructural.

Por los aspectos anteriormente tratados se deduce que la inclusión de la paja de páramo en el hormigón no solo posee potencialidades desde el punto de vista técnico, sino que además motiva el uso de buenas prácticas sostenibles y el beneficio de recursos locales en el sector de la construcción.

## 2.2 Estado del arte

Como ya se ha abordado la incorporación de fibras al hormigón convencional puede mejorar las propiedades mecánicas y estructurales del material (Li, 2003). La adición de fibra puede representar un incremento de la resistencia a tracción, la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del material, además de reducir la fisuración y mejorar su durabilidad (Banthia y Shah, 1998). Agrega Soroushian et al., 1990 que este tipo de hormigón se ha popularizado en aplicaciones de ingeniería civil y construcción de infraestructuras, donde se requiere mayor resistencia y confiabilidad en las estructuras. La utilización de fibras en el hormigón representa una innovación que contribuye a extender la vida útil de las obras y a optimizar su rendimiento estructural (Khan et al., 2014).

En el estudio realizado por Chávez, (2017) se analizó la influencia que tiene la ceniza de *Phragmites australis* (carrizo) en el comportamiento del concreto hidráulico para el diseño de pavimento rígido. Se emplearon porcentajes de 0 %, 4 % y 8 % de ceniza de carrizo con el fin de optimizar la resistencia del concreto convencional  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  cumpliendo con las especificaciones técnicas. Se conformaron 27 probetas, 9 para cada uno de los porcentajes de ceniza empleados. Se realizaron ensayos de resistencia a compresión con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días. Se obtuvo que la resistencia empleando las combinaciones de 4 % y 8 % de ceniza fue de 21.21 % y 5.61 % superior al patrón respectivamente. Además, se consigue una resistencia a la compresión axial de  $274.48 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días cuando se adicionó 4 % de ceniza de carrizo.

Machaka et al., (2022), también investigaron el tema cuyo objetivo fue determinar cuál es la incidencia que generan las fibras de *Phragmites Australis* en las propiedades del hormigón. Profundizó sobre el empleo de fibras naturales procedentes del tallo de dicha planta, cortando estos de forma mecanizada, hasta obtener fibras con 40 mm de largo y 2 mm de ancho. Luego, se le

aplicó un tratamiento químico con una solución de NaOH al 4% durante 24 horas y posteriormente, lavadas, secadas y almacenadas en bolsas de polietileno para su uso. La proporción de fibra tratadas fue desde 0% (patrón) al 1.5% en volumen y se empleó una relación agua cemento (A/C) del 0,5. Se empleó un periodo de curado de 3, 7 y 28 días. Además, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, densidad, absorción total de agua y absorción de agua por capilaridad a las probetas de hormigón. Se concluyó que la inclusión de fibras naturales de carrizo reduce la absorción de agua, tanto por inmersión total como por capilaridad hasta en un 45%. Además, se obtuvo que la densidad y resistencia del hormigón al agregar las fibras experimentan una disminución mínima. Se encuentra que al añadir hasta un 1.5% de fibras naturales de PA en el hormigón es una alternativa viable para generar un material ecológico adecuado para el desarrollo sostenible, manteniendo un rendimiento mecánico y durabilidad adecuados.

En este sentido el estudio realizado por Rawan et al., (2023) revela importantes resultados al emplear las fibras de *Phragmites Australis* combinadas con residuos industriales de vidrios para el rendimiento estructural de vigas de hormigón armado. Se utilizó una proporción 1:1,5:3 entre cemento, arena y árido grueso en peso para cinco de las combinaciones de hormigón empeladas en el experimento. Se añadieron fibras en concentraciones del 0% (muestra patrón), 0.5%, 1% y 1.5% del volumen total de la mezcla, mientras que un 10% del peso del cemento fue sustituido por vidrio. En todas las mezclas se mantuvo la misma relación a/c = 0.4 y se añadieron diferentes porcentajes de superplastificante a cada mezcla con la finalidad de mantener un asentamiento constante. Los tallos de la planta se cortaron en 3 cm de largo y 2 cm de ancho. Para mejorar las propiedades de adhesión de las fibras de *Phragmites australis* con la matriz y disminuir su carácter hidrofílico, se aplicó la solución con NaOH durante 24 horas para el tratamiento químico. Se emplearon probetas con configuración prismática, cilíndrica y cúbicas. A través de los resultados se encontró que al añadir esta fibra de carrizo se produce una ligera disminución en la resistencia a la compresión y tracción del hormigón en comparación con la mezcla de control. Sin embargo, la incorporación de un 0.5% de fibras de *Phragmites australis* mejoró el comportamiento del hormigón a tracción y a la flexión.

Albarracín y Arias (2024) realizaron un análisis comparativo de las propiedades y costos, entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo. Se encontró que no es factible emplear fibras cortas de carrizo en el hormigón reforzado ya que decrece considerablemente su resistencia a la compresión y su resistencia a la flexión. Las fibras trenzadas

de carrizo disminuyeron en gran proporción la dimensión de las fisuras en las vigas con relación a las vigas convencionales. También este estudio reveló que a partir de los 14 días las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo tienen una mayor resistencia a la flexión que los otros tipos de vigas. Desde la perspectiva económica se encontró que el coste más elevado fue en la viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo, debido a que requiere mayor cantidad de tratamiento químico. Sin embargo, al disminuir la cuantía de fisuras se aumenta la permisibilidad de un mayor desplazamiento y un incremento de la resistencia a la flexión lo cual incide de forma positiva en la durabilidad. En consecuencia, se deduce que la inclusión de fibras de carrizo y de paja de páramo, debido a las propiedades que presentan puede incidir de forma positiva en el rendimiento estructural del hormigón. También favorece la reducción de fisuras por retracción del hormigón y al ser una alternativa natural, se disminuye la emisión de agentes contaminantes lo que favorece el cuidado del medio ambiente y los objetivos del desarrollo sostenible.

En el caso de la paja de páramo en el hormigón los antecedentes encontrados son muy escasos. Se conoce que el uso de esta fibra en la construcción es muy antiguo, e incluso permanece en la actualidad como muestra fehaciente de las innegables tradiciones constructivas del hombre a través de las construcciones de adobe. Este ladrillo sin cocer es una masa de arcilla y arena mezclado en ocasiones con paja que se seca al sol y luego es utilizado en la realización de muros, paredes y arcos para construir la vivienda.

Como bien expresa Viera (2021) la construcción con fardos de paja es muy antigua, incluso existen organizaciones a nivel mundial que promueven este tipo de construcciones biosostenibles. La autora también destaca la existencia de una iglesia construida en 1904 en el estado de Nebraska que aún se mantiene en pie y funcionando. Señala también que la técnica ganó aceptación en Europa donde la primera vivienda fue construida en 1921 en Francia y actualmente es la sede de la asociación de constructores con fardos de paja, que es un material de origen natural con bajo coste de energía primaria, ductilidad y baja conductividad térmica.

La paja de páramo, en particular, presenta ventajas como su disponibilidad en zonas rurales, su bajo costo y su compatibilidad ecológica. Sin embargo, también presenta desafíos relacionados con su tratamiento previo para evitar la humedad, la biodegradación y la adherencia con la matriz de cemento. Este residuo agrícola se genera en grandes cantidades en las zonas de páramo, principalmente en países como Ecuador, Colombia y Perú. Su utilización en la construcción puede

contribuir a la economía circular, reducir la cantidad de residuos y disminuir la dependencia de materiales sintéticos o costosos. Además, su incorporación en mezclas de hormigón puede mejorar ciertas propiedades mecánicas y de durabilidad, además de ofrecer beneficios ambientales.

Diversos estudios han demostrado que la adición de fibras naturales, como la paja, puede incrementar la resistencia a la tracción y la ductilidad del hormigón, además de reducir la formación de grietas. La paja de páramo, en particular, presenta ventajas por su disponibilidad en zonas rurales, su bajo costo y su compatibilidad ecológica. Sin embargo, es importante considerar aspectos como la preparación previa, su tratamiento para evitar la humedad y la biodegradación, así como la optimización de las proporciones en la mezcla para garantizar un desempeño adecuado (García *et al.*, 2020).

### **2.3 Materiales empleados en las mezclas de hormigón**

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, conocido por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Este material compuesto se forma a partir de la mezcla de cemento, agua, áridos (gravas y arenas) y, en ocasiones, aditivos que mejoran sus propiedades. La combinación de estos componentes permite obtener un material que se adapta a diversas aplicaciones, desde estructuras de edificios hasta pavimentos y obras de infraestructura. Los autores Acevedo *et al.*, (1985); Salinas, (2015) y Tovar Bernaola, (2021) lo definen como una piedra artificial resultante de la mezcla de diferentes materiales como los antes mencionados. En algunos casos, al material pueden añadirse otros elementos como aditivos con el fin de mejorar sus propiedades. Añade Tovar Bernaola, (2021) que, como resultado de la mezcla, existen diversas clasificaciones de hormigón, tales como hormigón regular, a granel, armado, pretensado, mixto, ligero, y otros.

En el contexto del hormigón tradicional el uso de fibras naturales ha cobrado relevancia en la construcción moderna. Estas fibras, que son renovables y biodegradables, pueden incorporarse al hormigón para mejorar sus propiedades mecánicas y térmicas y representa un paso hacia la construcción sostenible, alineándose con las tendencias actuales que buscan minimizar el impacto ambiental de los materiales de construcción. Al explorar estas alternativas, se fomenta un diálogo sobre la necesidad de repensar los métodos tradicionales y considerar soluciones que no solo sean eficientes, sino también respetuosas con el medio ambiente.

Según Tovar Bernaola, (2021) el hormigón está compuesto por una mezcla de cemento y agua, en la que se incorporan partículas de un material conocido como árido, el cual representa

entre el 65% y el 80% del volumen total de un bloque de hormigón. Estos áridos se clasifican en finos y gruesos y deben estar libres de impurezas para que la adherencia con la pasta de cemento no se vea afectada, que en el caso del hormigón suele ser el cemento Portland el más utilizado.

### **2.3.1 Cemento**

Expone (Llerena, 2014) que el cemento al igual que otros materiales se encuentran en investigación constante en aras de mejorar sus prestaciones, la durabilidad y en consecuencia con el cumplimiento de los nuevos criterios de sustentabilidad. Por su parte Acevedo et al., (1985) refiere que el cemento Portland se conoce como uno de los más destacados y mencionados a nivel internacional. Su denominación tiene origen en su semejanza con el tono gris azulado de la caliza natural que se explotaba en la Isla Pórtland. Se produce a altas temperaturas cercanas a la fusión, de una combinación de materiales calizos y arcillosos. Este es el resultado de la formación de clinker, una sustancia secante, la cual se muele y se le añade el mineral yeso que regula el proceso de fraguado. Finalmente se obtiene el cemento. La selección de los materiales, los porcentos o sus proporciones se diseñan de acuerdo con las características que se desee obtener.

Este es un material fundamental en la fabricación del hormigón, pues actúa como aglutinante que une a los agregados (arena, gravas etc..) formando una masa sólida y resistente. Uno de los cementos más común es el Portland y se obtiene de la molienda del Clinker. Durante la mezcla, el cemento se combina con agua iniciando una reacción química llamada hidratación. Este produce una pasta que se endurece y confiere al hormigón resistencia y durabilidad. En general, el cemento es el componente esencial que proporciona cohesión y resistencia en la elaboración del hormigón.

### **2.3.2 Agregados o áridos**

A decir por Sánchez de Guzmán, (2001) los agregados o áridos pueden obtenerse de distintas formas y tamaños en la naturaleza como arena, finos o en minas que ofrecen el producto resultado de la trituración de rocas. Refiere, además que en dependencia del diseño de hormigón se escoge la granulometría deseada y requerida. Destaca la importancia de conocer que el material que pasa a través del tamiz No. 4 se los denomina agregados finos y el material que retiene el tamiz No. 4 corresponde a los áridos gruesos.

Por otro lado, Tovar Bernaola, (2021) hace alusión a la importancia de que los agregados deben tener una buena resistencia, durabilidad y capacidad para resistir la intemperie. También la

superficie debe estar totalmente libre de materiales tales como limo, arcilla y materia orgánica, las cuales podrían influir de forma negativa en la adherencia con la pasta de cemento.

Los autores Ayala y Martínez (2015) identifican que el agregado fino lo componen los áridos finos o arenas producto a materiales resultantes de la trituración natural de las rocas o de fuentes que proviene de la naturaleza o también pueden obtenerse de forma artificial. Este material debe ser químicamente inerte, sin ningún tipo de recubrimiento y suele estar compuesto por partículas que oscilan entre los 4.75 y 0.075 milímetros de tamaño (material que pasa por el tamiz No.4).

Estos mismos autores comentan que el árido grueso responde al por ciento en peso del material que queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). De igual forma la trituración de rocas o grava, naturales o artificial o la combinación de ambas debe garantizar la pureza del material resultante, así como evitar un incremento de partículas planas, alargadas, blandas o propensas a la desintegración.

En función de estos aspectos resulta siempre importante al diseñar la mezcla de hormigón tener en cuenta la granulometría de los áridos que, según Borja y Rea Castillo, (2015) el ensayo de granulometría se utiliza para obtener la distribución del tamaño de los granos que componen una masa del suelo o mineral. El análisis granulométrico, se realiza empleando una serie de tamices a través de la norma ASTM C-136. Según (Das, 2008) existen tres tipos de granulometrías: - Bien gradada, mal gradada o brecha clasificada. En dependencia de los parámetros coeficiente de uniformidad (Cu), coeficiente de gradación (Cc) y tamaño efectivo (D10).

### **2.3.3 Agua.**

El agua según expresa Mamani, (2020) para la confección del hormigón debe cumplir con los requerimientos técnicos que la Norma NTP 339.088 y ASTM C 109M. Se establece como referencia la calidad del agua potable. Vega, (2019) enfatiza en el objetivo que posee el agua en la elaboración del hormigón, debido a que su función es ser el constituyente reactivo del cemento y el compuesto para el mezclado y curado del concreto.

Para la elaboración del hormigón, el agua es un componente esencial, pues inicia y facilita el proceso de hidratación del cemento, permitiendo así que la mezcla adquiera la adecuada consistencia para la manipulación del hormigón y su colocación. La cantidad de agua debe ser controlada cuidadosamente, debido a que influye directamente en las propiedades finales del

hormigón, tales como resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Un exceso de agua puede influir en la disminución de la resistencia, mientras que una cantidad insuficiente puede dificultar su manejo y compactación.

Además, el agua debe ser limpia y de buena calidad para evitar presencia de contaminantes que puedan afectar la reacción química y la durabilidad del hormigón.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este capítulo contiene una descripción del procedimiento seguido durante la investigación, en la cual se define el tipo de investigación, el alcance, la población y la muestra objeto de estudio.

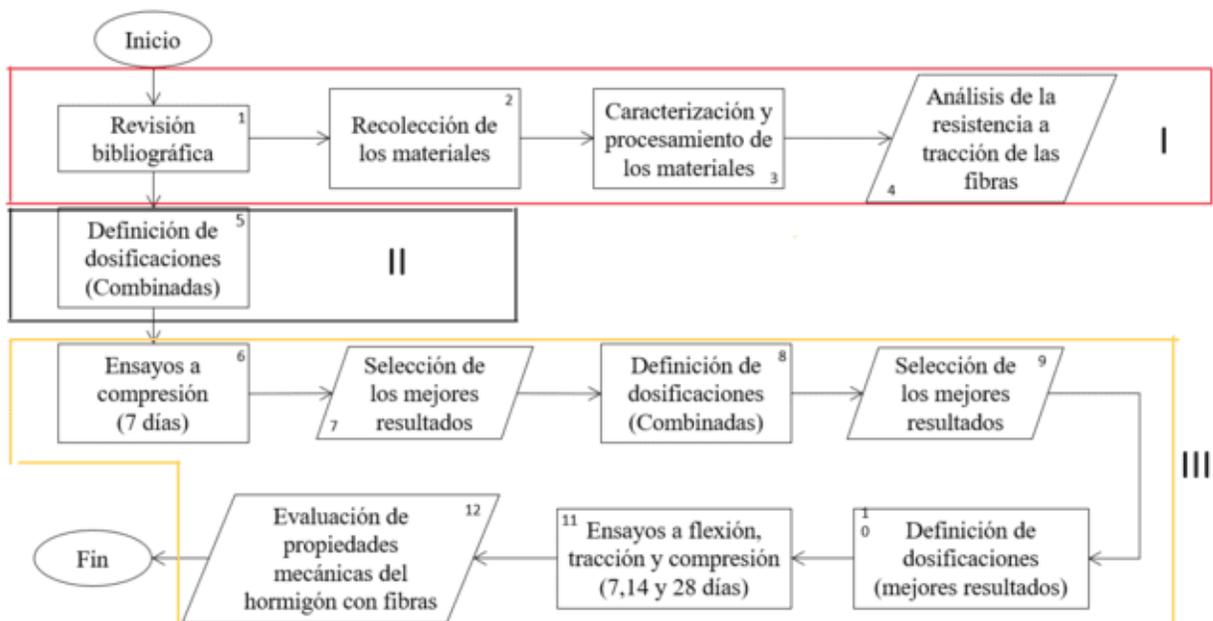
### 3.1 Alcance y tipo de investigación

El presente estudio posee un carácter experimental - correlacional, debido a que tiene como fin evaluar las diferentes proporciones de fibra de carrizo y paja de páramo en la mezcla a través de ensayos mecánicos, además de establecer una comparación con el hormigón convencional (sin fibras), para determinar si puede mejorar las características del hormigón en cuanto a la resistencia a compresión y tracción indirecta. Lo que permite aportar valiosa información para su uso en la construcción y diseño de estructuras más resistentes y sostenibles.

Su alcance se limita a las fibras de carrizo y paja de páramo obtenidas en la región, pues son estas las que se someten a tratamiento y ensayos; sin embargo, los resultados pueden ser extendidos y empleados en todas aquellas zonas de características similares, siempre que se realicen los ensayos de comprobación correspondientes previo a su aplicación.

Es una investigación de tipo cuantitativo, pues a través de los resultados de los ensayos se evalúa la incidencia que tiene la adición de fibras de carrizo y paja de páramo en el comportamiento del hormigón. En la figura 2 se resumen los pasos a seguir para el desarrollo de la misma.

**Figura 2.** Esquema del proceso de investigación



Cada una de estas etapas pueden dividirse en tres fases principales como se aprecia en la imagen con el color rojo para iniciar, seguido del negro y amarillo para finalizar. En la primera fase del proyecto se realiza la recopilación de la información histórica en torno al tema, revisando a profundidad la bibliografía existente que guarda relación con la temática. También se realiza una búsqueda exhaustiva de los antecedentes que poseen mayor significación para el estudio. Se hace un análisis bibliométrico que implica buscar información principalmente de los últimos 5-6 años con los indicadores referentes al tema, entre ellos figuran documentos académicos, artículos de revistas indexadas, repositorios que aporten datos importantes para cumplimentar los objetivos propuestos. Se consultaron 11 tesis y 5 artículos, de ellos 2 artículos y 3 tesis aportaron datos significativos que sirvieron de referencia para la caracterización de las fibras. Además, la revisión bibliográfica permite continuar con la siguiente fase: definir las posibles dosificaciones y porcentajes de fibras y pajas a adicionar.

Paralelamente a ello se procede a recopilar y caracterizar las fibras a emplear, que, según lo encontrado en las referencias, deben ser tratadas y curadas para evitar su degradación con el paso del tiempo. Posteriormente son sometidas a ensayos de resistencia a tracción.

Posteriormente, se procede a la fase de ensayos al hormigón, donde primeramente se propone una dosificación cuyo contenido de fibras se incluya en un 2, 3 y 4% en cada una de las longitudes cortadas. Luego de ello se seleccionan los mejores resultados para proponer una nueva dosificación donde se combinen las fibras de paja y carrizo para ser ensayadas a compresión, al igual que en la propuesta anterior, a los 7 días después del curado. Con las mejores muestras de todos los ensayos se elabora una nueva dosificación para hacer probetas cilíndricas y prismáticas que serán ensayadas a flexión a los 28 días. Las probetas cilíndricas de 15x 30 cm serán sometidas a ensayo de tracción indirecta y las de 10 x 20 cm serán ensayadas a compresión a los 7, 14 y 28 días. Finalmente serán analizadas las propiedades del hormigón con y sin adición de fibras, teniendo en cuenta el comportamiento respecto a la muestra patrón.

### **3.2 Población y muestra**

La población del estudio está conformada por todas las mezclas de hormigón que contienen fibra: fibra de carrizo, fibra de paja de páramo, fibra de carrizo y paja juntas en diferentes proporciones y condiciones de curado, cumpliendo con los criterios de inclusión como el diámetro, tamaño de la fibra de 2, 5 y 8 cm, curado y una dosificación controlada estableciendo la relación

agua cemento que cumplan con los requisitos de trabajabilidad para poder analizar las mejores combinaciones a compresión, tracción y flexión.

La muestra en la presente investigación representa el conjunto representativo de la población previamente definida. Fue seleccionado mediante la técnica de muestreo por conveniencia, teniendo en cuenta la norma NTE INEN 1578 bajo la recomendación de emplear al menos tres o más especímenes para cada edad y condiciones de prueba. En tal caso para la investigación, las muestras estuvieron conformadas por 32 probetas cilíndricas, de ellas 24 son de 10 x 20 cm y 8 son de 15 x 30cm. En el caso de las vigas se seleccionó un total de 8 vigas de sección transversal 15 x 15 x 60cm. Se tuvo en cuenta los factores de tiempo (7, 14 y 28 días).

Para la selección de los porcentajes de fibras y pajas a emplear se consideran los criterios en base a la investigación realizada por Martínez et al. (2018), donde se hace alusión a que añadir porcentajes altos de fibras puede reducir la cohesión interna y, en consecuencia, disminuir la resistencia a la compresión. Por otro lado, García y Pérez, (2017) hacen referencia a que es más recomendable emplear longitudes entre 20 y 50 mm de fibras, pues facilita una mayor cohesión en la matriz sin comprometer la resistencia. Por lo anterior, se selecciona añadir a las muestras 0%, 2%, 3% y 4% de fibra de carrizo y paja de páramo, dispuestas en forma aleatorias y con dimensiones de 2cm, 5 cm y 8cm. Con esta combinación se elaboran 28 probetas que son ensayadas a los 7 días. El propósito de estos ensayos era seleccionar la mejor de estas combinaciones para elaborar nuevas probetas donde se tuviera en cuenta la combinación de las fibras para someterlas a ensayos de compresión también a los 7 días. Posteriormente a ello se elaboran 14 probetas más con las mejores combinaciones y ensayar a 7 días y a partir de esas dosificaciones obtener una dosificación final para ensayar a 7, 14 y 28 días, teniendo en cuenta usar moldes cilíndricos de 20 x 10 cm de diámetro, y de 15 x 30 cm y vigas de 15 x 15 x 60 cm.

Para simplificar un poco la redacción en lo adelante se asume la denominación de H, para la muestra de referencia, sin la adición de fibras, HC: para las mezclas de hormigón con fibras de carrizo, HP: para las mezclas con paja de páramo y HPC: para las mezclas que combinan ambas fibras.

### **3.3 Diseño experimental**

Para el desarrollo de la investigación se parte del primer objetivo específico perseguido en la investigación que es la caracterización de los aditivos alternativos a emplear en el estudio que son la fibra de carrizo y la paja de páramo. Es conveniente señalar que las características de los

materiales convencionales también deben ser analizadas para verificar que cumplan con los parámetros mínimos exigidos por las normas ecuatorianas para el diseño de hormigón.

De manera general pueden señalarse algunos aspectos importantes que se tuvieron en cuenta como que:

- Para la dosificación del diseño del hormigón se emplea la misma cantidad de agua para el hormigón patrón y el hormigón reforzado con distintos porcentajes de fibras de carrizo.
- Se emplea la misma relación agua/cemento y agua/cemento/(cemento + fibra) para la preparación de hormigones de control y el reforzados con fibra.
- Los valores porcentuales de las fibras y pajas que se añaden a las muestras se miden en base al volumen, y como se dijo anteriormente 0% en la muestra de patrón y 2%, 3% y 4% tanto para la fibra de carrizo como para la de paja en las muestras reforzadas.

### 3.3.1 Toma de muestra y procesamiento de las fibras

Es importante tener en cuenta cómo se realiza la toma de muestra y el procesamiento para llevarla al tamaño adecuado que permita su inclusión en la mezcla de hormigón, que, en este caso, todo se realiza de forma manual. Luego de cortados se deben almacenar de forma que no pierda propiedades, para posteriormente realizar los ensayos correspondientes que permitan definir sus propiedades físicas – mecánicas.

*Figura 3: Presentación y ubicación del carrizo*



En el caso del carrizo (*Phragmites Australis*) se obtuvo de la ciudad de Ambato del sector Atahualpa. Este tipo de plantas crecen cerca de ríos o de lugares en zonas de regadíos. En la en la Figura 3 se muestra la ubicación y el lugar donde fue tomada la planta para su posterior preparación.

El proceso de obtención de la fibra del carrizo en su estado natural se realiza de la siguiente forma:

- Se corta desde la raíz del sitio de origen.
- Una vez obtenido el carrizo se deja reposar 24 horas para que salga el agua que contiene en las hojas.
- Posteriormente se procede a la clasificación del carrizo, se debe verificar que este se encuentre en la edad media de su crecimiento y madurez, o sea de 10 meses a un año, pues pasado a ese tiempo la planta comienza a amarillarse y ya no se encuentra apto para su uso como fibras.
- Se recorta el carrizo de diferentes medidas para las fibras 2 cm, 5 cm y 8 cm. Evitando cortar con las uniones ya que es difícil obtener las fibras (Ver Figura 4). Además, se seleccionan estas mediadas de acuerdo a la literatura revisada que recomienda una longitud promedio de 6 cm
- Una vez cortado a la medida requerida de forma manual y con una herramienta se procede a obtener la parte más fina del carrizo la cual está la intemperie.
- Ya cortado cada parte fina se procede a obtener la fibra de 2mm de diámetro como máximo.

**Figura 4:** Proceso de corte y desfibrado del carrizo



- Ya obtenida la fibra está listo para el curado con la parafina (ver Figura 5, 6 y 7).

*Figura 5: Parafina empleada para tratar las fibras*



*Figura 6: Proceso de curado de la fibra de carrizo con parafina*



*Figura 7: Fibra de carrizo curada*



Cabe destacar que, para garantizar una protección adecuada a las fibras ante la alcalinidad del concreto, (Juárez et al., 2003) en su trabajo de investigación, refiere diferentes tipos de tratamiento: Sulfato de Sodio, Silicato de Sodio, Selladores de madera, Creosota, Aceite de linaza y parafina (Balseca et al., 2023). Sin embargo, según los estudios realizados por Balseca et al., (2023) la parafina presentó los mejores resultados tanto de adherencia a la fibra como a la mezcla. En torno a ello refiere Oregón (2020) que esta es un tipo de cera que se presenta en estado sólido ceroso, blanco, inodoro y su punto de fusión está entre los 69 °C y 84 °C.

La paja de páramo, por su parte también se obtuvo de la ciudad de Ambato, pero en el sector Calhua, la misma, como ya se ha mencionado crecen en los páramos donde es complicado el acceso para las personas pues su temperatura es baja y hay mucho frío o se mantienen largos periodos de lluvia intermitente (ver Figura 8).

**Figura 8:** Presentación y ubicación de la paja de páramo



Para obtener la paja del páramo se realizan los siguientes pasos:

- De forma manual y empleando una herramienta simple de corte se recorta a partir de los 10cm de la raíz.
- Se deja reposar 24 horas para que salga el agua que contiene en las hojas.
- Se procede a la clasificación de la paja de páramo donde se selecciona los que tiene mayor tamaño y diámetro.
- Se eliminan las hojas de la paja de manera tal que solo quede el tallo y se procede a clasificar y recortar.
- Luego se recorta la fibra a diferentes medidas 2 cm, 5 cm y 8 cm.

- La paja se recorta con todas las uniones, ya que tienen el mismo diámetro y no interfiere en el proceso de curado.
- Ya recortada la fibra se verifica que cada una de ellas no supere los 2mm máximo.
- Posteriormente se procede al curado con la parafina de la misma manera que se procedió con el carrizo.

### **3.3.2 Ensayos para la caracterización de las fibras de carrizo y paja de páramo.**

Es conveniente señalar que, además de las propiedades mecánicas, la densidad real y el porcentaje de absorción de fibras son parámetros importantes a tener en cuenta. En el caso de la densidad se rige por la normativa ecuatoriana NTE INEN 2 527 (2010) y por la norma internacional ASTM-D792 (2008). Los procedimientos a seguir para cada uno de ellos se describen a continuación y los resultados de los mismos se muestran en el capítulo 4.

#### **Procedimiento para la determinación de la densidad real:**

- 1) Elaborar muestras de paja de carrizo y paja de páramo con un peso entre 0.5 y 1 gramo de peso.
- 2) Una vez tomada las muestras, se sumergir en agua destilada por 24 horas para esperar su saturación.
- 3) Instalar el equipo de densidad, a través de un vaso de precipitación de 250ml con una balanza digital.
- 4) Llenar el vaso de precipitación con agua destilada y proceder a colgar la canastilla con la muestra de fibra adentro.
- 5) Una vez introducida la canastilla, con la ayuda de una varilla de agitación se procede a mover la muestra para eliminar el exceso de aire.
- 6) Se toma el dato del peso de la fibra más la canastilla colgados en agua con una aproximación de 0.01g.

La densidad se determina según la ecuación 1

$$densidad = \frac{A}{A + W - B}$$

Donde:

A: masa muestra seca.

W: masa canastilla sumergida

B: masa muestra sumergida + canastilla

En el caso del porcentaje de absorción de fibras se emplea la norma ISO:3344, (1997) y para ello:

- 1) Se elaboraron 10 muestras entre 0.5 y 1.5 gramos.
- 2) Una vez obtenidas las muestras se las lleva al horno por 24 horas para posterior a esto obtener su peso seco en una balanza con precisión de 0.001 gramos.
- 3) Se sumergen las muestras en agua destilada por 24 horas.
- 4) Cuando hayan transcurrido las 24 horas, se saca del agua las muestras y con la ayuda de papel absorbente se seca el exceso de agua, todo esto para dejar las muestras en una condición saturada superficialmente seco (SSS).
- 5) Finalmente se pesan las muestras en la balanza con una precisión de 0.0001 gramos y se procede a tabular los datos.

Se determina la absorción según la ecuación 2:

$$\% \text{ absorción} = \frac{\text{peso SSS} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$

Donde:

Peso SSS: Peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco.

Peso seco: Peso de la muestra una vez transcurrido 24 horas en el horno.

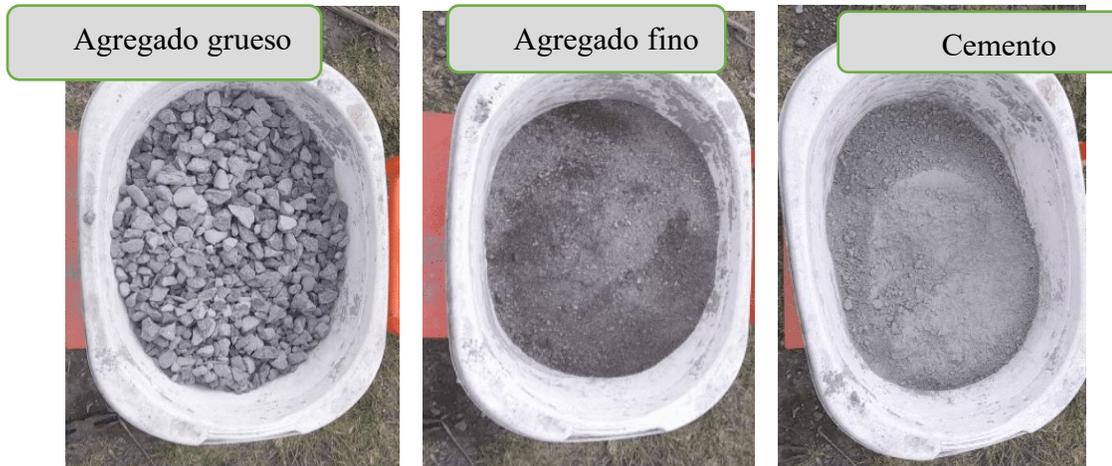
### 3.3.3 Ensayos para los materiales convencionales

Es válido señalar que, aunque no se plantea dentro de los objetivos, los materiales convencionales como el cemento, los áridos y el agua también deben ser caracterizados, pues, a pesar de ser los que se emplean comúnmente en las mezclas de hormigón pueden tener características muy diferentes en función de la región donde se utilicen también se hace hincapié a las normas utilizadas para cemento, agua, además para los agregados finos y gruesos se realiza granulometría. Además de ello, estas propiedades inciden directamente en las características de la mezcla final de hormigón que es la que sirve como referencia o muestra patrón para tomarla como factor de comparación con las probetas que se realizan con las dosificaciones alternativas. Estos materiales pueden apreciarse de izquierda a derecha en la Figura 9: árido grueso, árido fino y cemento.

Para que se entienda mejor, en el caso de los áridos se deben realizar, por ejemplo, ensayos de granulometría (que si fueron analizados en la presente investigación), pues esta propiedad incide directamente en el índice de vacíos de la mezcla final de hormigón. También se puede realizar peso específico, absorción de agua, densidad, partículas planas o alargadas y abrasión. En el caso

del cemento destaca la resistencia a flexión y compresión, así como el índice de finura y determinación del tiempo de fraguado

**Figura 9:** *Materiales empleados en la mezcla de hormigón*



La comparación, sobre la base del análisis e interpretación de los resultados en los ensayos realizados a las probetas propuestas, es lo que permite analizar el comportamiento de las mezclas de hormigón con fibras de carrizo y paja de páramo, en las diferentes proporciones y tamaños propuestas.

Es importante destacar que el cumplimiento estricto de las normativas establecidas es necesario para garantizar resultados correctos y coherentes con la investigación. En la tabla 1 se relacionan los principales aspectos que deben cumplir los materiales a emplear en función de los diferentes parámetros que intervienen en la ejecución de los ensayos.

**Tabla 1:** *Materiales empleados en la elaboración de mezclas.*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Probetas cilíndricas	Las probetas utilizadas deben tener una base de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, fabricadas en acero inoxidable, un material rígido, no absorbente y no reactivo con el cemento.
Cemento	En este caso será Holcim Fuerte tipo GU
Arena	Debe estar en un ambiente sin humedad, con una temperatura entre 20° C y 30° C.

Grava	Debe estar en un ambiente sin humedad, con una temperatura entre 20° C y 30° C.
Agua	Agua sin contaminantes
Hormigonera	Es empleada en el proceso de conformación de la mezcla de hormigón con las fibras de ambos materiales.
Otras herramientas	Brochas, paletas de albañil, carretillas y balanza.
Fibras y pajas	Materiales previamente tratados que son añadidos a la mezcla de hormigón.

### 3.3.4 Ensayos al hormigón

Una vez que se conozcan las propiedades físicas de los materiales a emplear se realiza el diseño de la mezcla de hormigón con la norma *ACI 522R-10*. El diseño de mezcla es un procedimiento empírico para obtener las proporciones de materiales necesarios para cumplir ciertas propiedades físicas y mecánicas del concreto. Con la determinación de los pesos de los áridos, así como la absorción, la definición de los porcentos y las dosificaciones se procede a la determinación de la consistencia mediante el ensayo de la Norma MTC E705 "Asentamiento del concreto (slump)" de la mezcla patrón, y de las mezclas con la adición de fibra de carrizo, fibra de paja y la combinación de ambos.

Para la dosificación del diseño del hormigón se procede como se explicaba en el inicio del epígrafe 3.3. Las probetas de hormigón serán ensayadas teniendo en cuenta las normativas que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2:** Ensayos a realizar a las probetas de hormigón.

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
(NTE INEN 1573, 2010).	Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón
(NORMA ASTM C-39).	Resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico
(NTE INEN 2648, 2013).	Resistencia a tracción indirecta de cilindros de hormigón

La maquinaria empleada debe ser debidamente calibrada y el error permitido debe estar en el rango de  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada. Los valores obtenidos en este ensayo dependen de varios

factores, tales como el tamaño y la forma de la probeta, el proceso de mezclado, tipo de mezcla, temperatura, condiciones de humedad, entre otros. Las muestras deben ser sometidas a un proceso adecuado de curado antes de ensayar con una de humedad constante entre el 95% y 100% ya sea en piletas de inmersión o cámaras de curado, también deben estar húmedas durante el ensayo.

La muestra del hormigón convencional, se denomina muestra patrón (H), está compuesta solamente por los agregados, arena, agua y cemento, sin la inclusión de las fibras o pajas. La muestra de hormigón reforzado con fibras de carrizo (HC) se añaden los porcentajes de fibras de carrizo y la composición es de cemento, arena, agregado grueso, agua y fibras de carrizo. La tercera muestra será la compuesta por la fibra de paja de páramo (HP), la misma tiene la composición de la anterior solo que será añadido fibra de paja de páramo en vez de carrizo y se tiene una última muestra con la combinación de ambas fibras según los mejores resultados obtenidos luego de ensayar las primeras 28 probetas.

En la Figura 10 puede apreciarse el procedimiento seguido para la elaboración de la mezcla de hormigón, donde se parte de mezclar los materiales secos para lograr la homogenización entre los áridos finos y gruesos de conjunto con el cemento. Posteriormente se añade el agua y se mezcla de forma manual buscando minimizar los vacíos de la mezcla. Finalmente se añaden las fibras de carrizo o la paja según sea el caso, para luego verter la mezcla en los moldes cilíndricos a emplear.

**Figura 10:** Procedimiento seguido para realizar la mezcla de hormigón



Las muestras se rompen dentro de los límites de tolerancia establecidos según la Norma ASTM C-39, 2021. Estos se relacionan en la tabla que se muestra:

**Tabla 3:** Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de espécimen

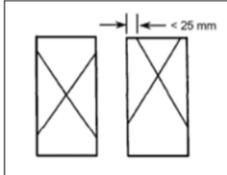
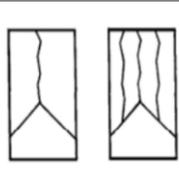
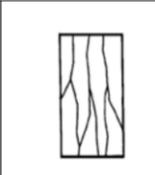
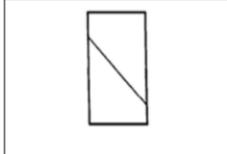
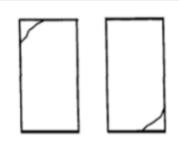
Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0,5 h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

**Fuente:** (ASTM C-39, 2021)

Las especificaciones que establece la Norma ASTM C-39, (2021) refiere que la carga debe ser aplicada de forma continua hasta que se alcance la máxima carga y se indique una disminución constante. En el caso de la velocidad, la misma debe estar dentro de los límites establecidos. Aun cuando se presentan desprendimientos en los extremos superiores de la muestra no significa que el cilindro haya sufrido un fallo, por lo que se debe continuar aplicando la carga hasta alcanzar el valor máximo de carga.

Los tipos de fallas que durante la prueba pueden experimentar los cilindros de hormigón cuya relación diámetro/longitud = 2, se ilustran en la Figura 11. Estas fallas deben ser anotadas con los resultados de la carga máxima aplicada pues puede contribuir a la comprensión posterior de los fenómenos que incidieron en la ruptura de la probeta.

**Figura 11:** Modelos típicos de fallas de los cilindros durante los ensayos de resistencia

		
Tipo 1 Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm	Tipo 2 Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.	Tipo 3 Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.
		
Tipo 4 Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.	Tipo 5 Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)	Tipo 6 Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

**Fuente:** (ASTM C-39, 2021)

### 3.3.5 Resumen de ensayos realizados

En las siguientes tablas se observa los ensayos realizados en todos los cilindros.

**Tabla 4. Resumen primera dosificación**

Muestra	Dimensiones de cilindro (cm)	% De Fibra	Longitud de Fibra (cm)	Resistencia MPa	Tipo de ensayo
				7 días	
H	10x20	0%	0	13,825	Compresión
HP	10x20	2%	2	12,59	Compresión
HP	10x20	2%	5	9,9	Compresión
HP	10x20	2%	8	6,79	Compresión
HP	10x20	3%	5	7,38	Compresión
HP	10x20	4%	2	8,02	Compresión
HP	10x20	4%	5	6,06	Compresión
HP	10x20	4%	8	4,2	Compresión
HC	10x20	2%	2	12,09	Compresión
HC	10x20	2%	5	9,75	Compresión
HC	10x20	2%	8	7,78	Compresión
HC	10x20	3%	5	6,85	Compresión
HC	10x20	4%	2	6,25	Compresión
HC	10x20	4%	5	5,09	Compresión
HC	10x20	4%	8	3,56	Compresión

**Tabla 5. Resumen segunda dosificación**

Muestra	Dimensiones de cilindro (cm)	% De Fibra	Combinación	Longitud de Fibra (cm)	Resistencia MPa	Tipo de ensayo
					7 días	
H	10x20	0%		0	13,825	Compresión
HPC	10x20	2%	1%P +1%C	5	5,97	Compresión
HPC	10x20	2%	1%P +1%C	2	11,33	Compresión
HPC	10x20	2,50%	1%P +1,5%C	2	11,86	Compresión
HPC	10x20	2,50%	1,5%P +1%C	2	9,64	Compresión
HPC	10x20	3%	1%P +2%C	2	7,55	Compresión
HPC	10x20	4%	3%P +2%C	2	5,13	Compresión
HPC	10x20	4%	2%P +2%C	2	5,73	Compresión

**Tabla 6. Resumen dosificación final**

Muestra	Dimensiones de cilindro (cm)	% De Fibra	Combinación	Longitud de Fibra (cm)	Resistencia MPa			Tipo de ensayo
					7 días	14 días	28 días	
H	10x20	0%		0	13,825	19,58	21,40	Compresión
HP	10x20	2%		2	12,67	15,60	16,65	Compresión
HC	10x21	2%		2	12,14	13,69	14,46	Compresión
HPC	10x21	2,5%	1,5 P + 1C	2	11,79	12,49	13,76	Compresión

Muestra	Dimensiones de cilindro (cm)	% De Fibra	Combinación	Longitud de Fibra (cm)	Resistencia MPa	Tipo de ensayo
					28 días	
H	15x30	0%		2	2,13	Tracción indirecta
HP	15x30	2%		2	1,23	Tracción indirecta
HC	15x30	2%		2	1,57	Tracción indirecta
HPC	15x30	2,50%	1,5 P + 1C	2	1,41	Tracción indirecta

Muestra	Dimensiones de cilindro (cm)	% De Fibra	Combinación	Longitud de Fibra (cm)	Resistencia MPa	Tipo de ensayo
					28 días	
H	15x15x60	0%		2	2,93	Vigas a Flexión
HP	15x15x60	2%		2	1,61	Vigas a Flexión
HC	15x15x60	2%		2	2,06	Vigas a Flexión
HPC	15x15x60	2,50%	1,5 P + 1C	2	1,85	Vigas a Flexión

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados de todos los ensayos realizados en el proceso de investigación, teniendo en cuenta los objetivos propuestos en la misma. Se realiza un análisis y valoración en función de los resultados obtenidos, definiendo así la incidencia que tiene la fibra de carrizo y la paja de páramo en el comportamiento del hormigón, atendiendo a las variables porcentaje y longitudes.

### 4.1. Caracterización de los materiales empleados

#### 4.1.1 Fibras de carrizo

Las fibras de carrizo listas fueron trasladadas al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, donde fueron analizadas bajo la normativa ASTM D143. En la Tabla 7 se resumen estos resultados y en la figura 13 se muestran gráficas e imágenes del reporte de ensayos entregados por dicho laboratorio, el cual se encuentra en el anexo 1 del presente documento.

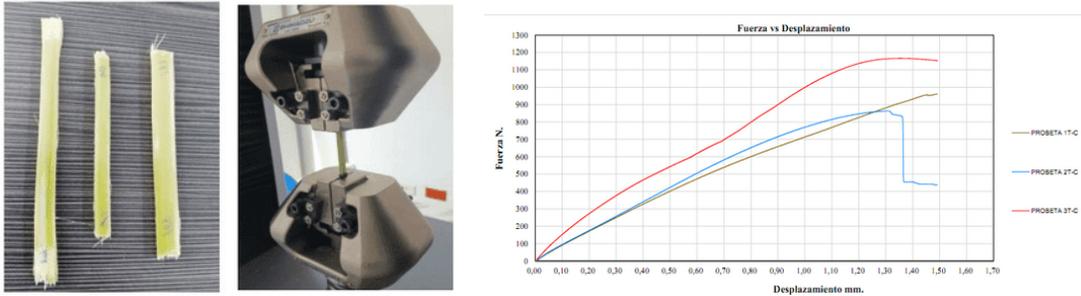
*Tabla 7: Resultados del ensayo a tracción de la fibra de carrizo*

No/ muestr a	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Desplaza -miento (mm)	Tensión Máxim a (MPa)	Módulo Elástico o (GPa)	% Deformació n máxima
	Diámetr o (mm)	Longit ud (cm)					
1	2,9	6.40	977,87	1,561	52,687	3,934	1,951
2	2,9	5,10	863,68	1,305	58,396	3,963	2,175
3	2,9	8,70	1166,58	1,396	46,238	3,819	2,266
<b>Promedio</b>			1002.708	1.409	52.44	3.905	2.131
<b>Desviación estándar</b>			152.971	0.135	6.083	0.076	0.162

Puede apreciarse como la muestra 3 en la figura 12, fue la que presentó menor módulo elástico y mayor porcentaje de deformación de 2.266%. Por el contrario, la muestra 2 fue la de mayor módulo elástico, aunque el porcentaje de deformación máximo bajo a 2.175%, mientras que la muestra 1 tiene un valor intermedio en el módulo elástico pero su porcentaje de deformación es el más bajo de las 3 muestras con el 1.951%. Se analizaron 3 muestras de fibras en el ensayo lo

cual su resultado es similar entre sí y se obtuvo un promedio general de 52.44 MPa, mientras que su desviación estándar de las 3 muestras de fibras es de 6.083 MPa. La baja desviación estándar en el módulo de elasticidad (0.076 GPa) sugiere que las propiedades elásticas son consistentes, mientras que la mayor dispersión en fuerza máxima (152.971 N) y deformación (0.162%) indica que otros factores como diámetro o alineación de fibras pueden influir. También puede significar que la resistencia a tracción de las fibras se encuentra asociada, a otros factores como la longitud, manipulación al momento de obtener la fibra que debieran ser estudiados con más profundidad.

**Figura 12:** Ensayo a tracción de la fibra de carrizo



#### 4.1.2 Paja de páramo

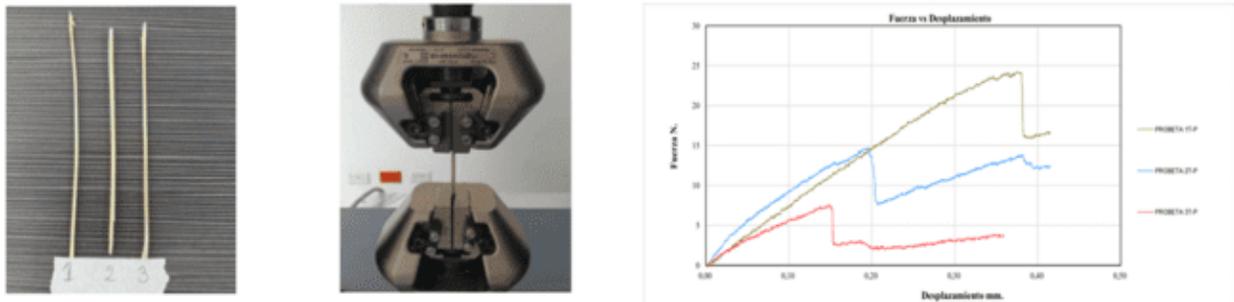
Estas fibras también fueron llevadas al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA donde se le realizaron los mismos ensayos que al carrizo bajo la normativa ASTM D143. En la figura 13 se muestran gráficas e imágenes del reporte de ensayos realizados por la institución, así como la tabulación de los mismos en la Tabla 8, más detalles se aprecian en el anexo 2 de la tesis.

**Tabla 8:** Resultados del ensayo a tracción de la paja de páramo

No/ muestra	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Desplazamiento (mm)	Tensión Máxima (MPa)	Módulo Elástico (GPa)	% Deformación máxima
	Diámetro (mm)	Longitud (cm)					
1	1,16	5,50	24,23	0,375	22,928	4,425	0,681
2	1,70	5,50	14,72	0,195	6,484	3,693	0,355
3	1,36	5,50	7,59	0,149	5,225	3,133	0,270
<b>Promedio</b>			15.513	0.240	11.546	3.75	0.436
<b>Desviación Estándar</b>			8.349	0.119	9.878	0.648	0.217

En el caso de la paja la tensión máxima fue soportada por muestra 1, con valores muy superiores a las otras dos muestras, lo cual podría indicar que se necesita incrementar el número de ensayos para verificar esta relación diámetro-tensión. Como se aprecia en la tabla presenta, el mayor módulo elástico al igual que el porcentaje de deformación máximo. La muestra 2 por su parte muestra valores intermedios de tensión, elasticidad y deformación, estos pudieran estar asociados a la manipulación de las fibras, como aprecia al observar detenidamente las 3 muestras luego de ser ensayadas.

**Figura 13:** *Ensayo a tracción de la paja de páramo*



En cuanto a las propiedades mecánicas, se obtuvo para la paja de páramo una tensión promedio de 11.546MPa y un módulo de elasticidad (E) de 3.75 GPa para diferentes diámetros y longitudes además una desviación estándar de 9.878 MPa. En el caso de la fibra de carrizo la resistencia promedio fue 52.44 MPa y módulo de elasticidad de 3.905 GPa, lo que sugiere un mejor comportamiento para el carrizo que para la paja. El estudio señala que los valores promedios de la paja no resultan muy representativos por la gran desviación que introduce en los resultados la primera muestra de paja analizada tiene una gran diferencia al compararse con la segunda y tercera muestra esto se puede dar a la manipulación de las fibras o también al agarre que ocasiona la máquina al momento de realizar el ensayo, sin embargo, todas las muestras de carrizo soportaron mayor tensión que la paja.

Es conveniente señalar que han sido encontrados algunos estudios que analizan el comportamiento a tracción de la fibra de carrizo y en el caso de la paja de páramo, en (Chen, 2024) reporta un mejor comportamiento con la fibra de caña donde tenemos una resistencia a la tracción de 30 a 70 MPa y un módulo de elasticidad 2.5 a 4.5 GPa, esto es muy similar a la fibra de carrizo ya que se encuentra dentro del rango de los resultados obtenidos en cada ensayo realizado esto se puede observar en la tabla 6. Sin embargo, los resultados obtenidos son consecuentes con los valores obtenidos por Mora-Espinosa et al. (2017) quienes reportan que la caña flecha y guérregue

que analizaron, presenta una resistencia a tracción de alrededor de 50 MPa. Ellos señalan también que la microestructura interna de la planta (como el lumen y la pared celular) influye significativamente en las propiedades mecánicas, de ahí que al seleccionarla se tuvo especial cuidado de no cortar la parte donde se ubican los nudos.

En el caso de la paja de páramo, como ya se mencionó los estudios han sido muy escasos lo cual resalta el valor de la presente investigación, sobre todo a nivel local, donde la planta se encuentra en grandes cantidades y es fácil su recolección. Se encuentra incluso que los resultados obtenidos son superiores a los encontrados por Ramos & Viera (2023), donde estudiaron paneles estructurales prefabricados con paja compactada, molduras de madera y revoco ligero. La máxima tensión alcanzada en el estudio realizado por Ramos & Viera (2023) fue de 5.92 MPa y Módulo de Elasticidad igual a 0.425 GPa. Aquí pudiera influir la acción de curado que se realiza a las fibras.

**Tabla 9. Análisis integrado**

<b>Estudio</b>	<b>Material</b>	<b>Tensión Máx (MPa)</b>	<b>Módulo E (GPa)</b>	<b>Observaciones</b>
Presente estudio	Carrizo	52.44	3.91	Alta resistencia, buena rigidez
Presente estudio	Paja de páramo	11.55	3.75	Rigidez aceptable, baja resistencia
Mora-Espinosa et al. (2017)	Caña flecha	~50	3.5–4.0	Influencia de microestructura
Ramos & Viera (2023)	Paja compactada	5.92	0.425	Apto para edificaciones de 3 pisos
Huikun Chen (2024)	Caña	30-70	2.5-4.5	Alta resistencia, buena rigidez

### 4.1.3 Áridos

Los agregados que se utilizan son: como árido grueso; grava con un diámetro máximo de  $\frac{3}{4}$ ", y para el fino se tiene arena triturada. El agregado grueso se define como el material retenido en el tamiz 4.76 mm (N° 4) y cumple los límites establecidos en la norma. Su origen debe ser producto de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; los fragmentos resultantes no deben poseer impurezas, polvo tierra u otras sustancias. Físicamente se debe considerar que las partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables no sean excesivas. En la presente investigación el material que ha cumplido estos requerimientos procede de la

“Hormigonera Moreno”, ubicada en la ciudad de Riobamba. Este material es de río y tiene su origen en la ciudad de Chambo en la mina “La Guadalupe”.

El árido fino se define como la desintegración artificial o natural de las rocas, que pasa por el tamiz NTP 4.75 mm (N° 4). No deberá contener materiales inorgánicos o contaminantes. El porcentaje de arena de pulverización no podrá componer más del 30 % de la masa del agregado fino. En el caso de estudio, este material es el proveniente de la empresa “COVIPAL”, la misma se obtuvo de manera artificial producto de trituración del material de río. La misma aporta una suma importante de fino considerado un buen material *filler*.

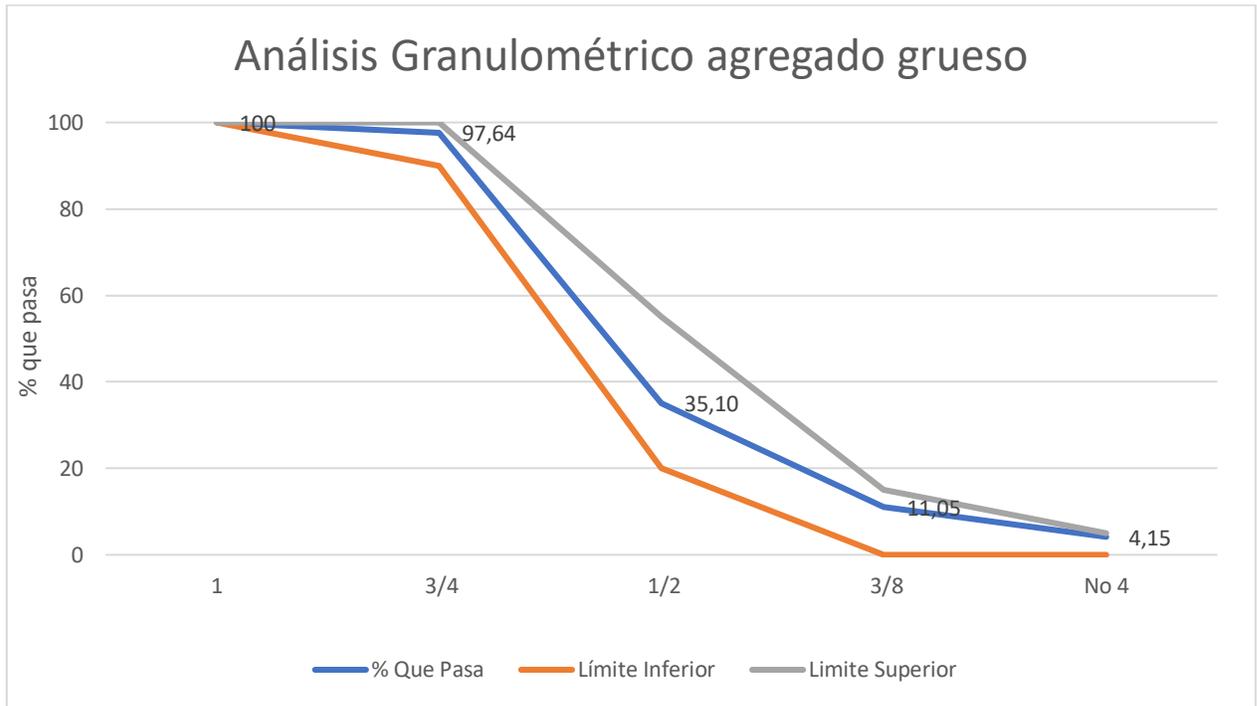
Este agregado debe cumplir además con los requisitos granulométricos específicos establecidos, además de que la granulometría elegida para el diseño de la mezcla no debe exceder el 45 % del material retenido entre dos tamices consecutivos y el módulo de finura intermedio debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1. Se debe garantizar que la mezcla diseñada se ajuste al módulo de finura siempre, con una tolerancia de  $\pm 2$  décimas con respecto al módulo de finura que se obtiene a partir de la gradación seleccionada que define la ecuación de trabajo.

En el caso de los áridos, como se aborda en el Capítulo II, el análisis granulométrico resulta de vital importancia y en las figuras 15 y 16 se observa la curva granulométrica con los resultados obtenidos tanto para el árido grueso como para el fino. En estas se puede observar que tanto para el árido grueso como para el fino los valores de las curvas cumplen con los requerimientos establecidos por las normas (NTE INEN 872, 2011) y (NTE INEN 696, 2011) en cuanto a módulo de finura. Atendiendo a los coeficientes de uniformidad y gradación estos clasifican como bien gradada para el árido grueso con un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ ”, lo que se representa que estos resultados son óptimos para realizar las muestras.

**Tabla 10.** Análisis granulométrico del agregado grueso

# Tamiz	Dimensión (mm)	Peso Retenido Acumulado (g)	Relativo Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Inferior	Límite Superior
1	25	0	0	0	0,00	100	100	100
3/4	19	236,28	236,28	2,36	2,36	97,64	90	100
1/2	12,5	6490,28	6254,00	62,54	64,90	35,10	20	55
3/8	9,5	8894,73	2404,45	24,04	88,95	11,05	0	15
No 4	4,75	9584,60	689,87	6,90	95,85	4,15	0	5
PASANTE		10000,00	415,40	4,15	100,00	0,00		
		Peso Total	10000	100				

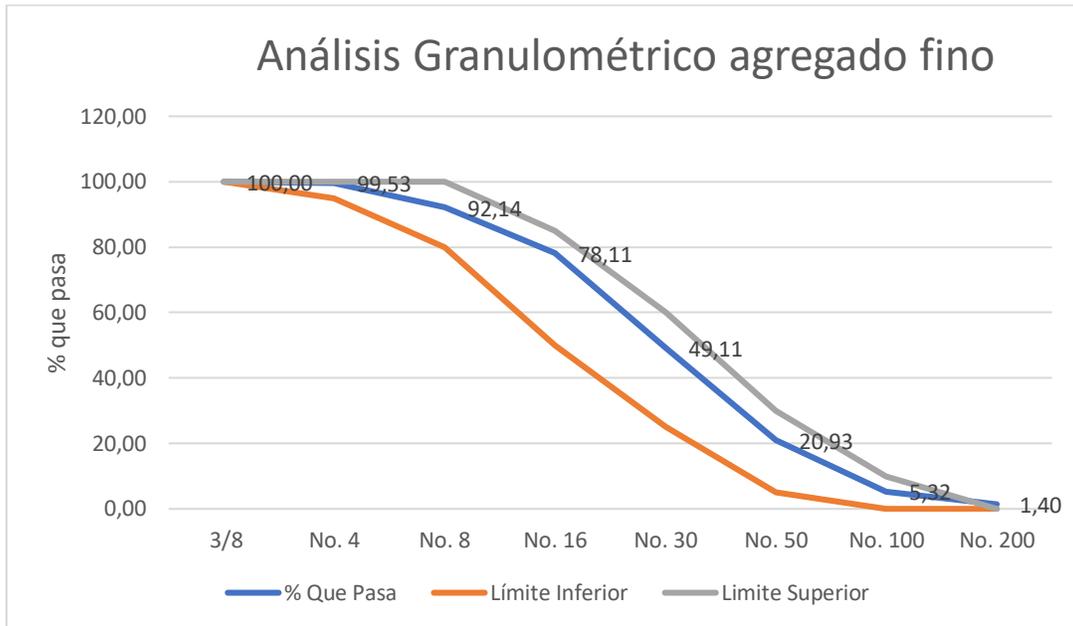
**Figura 14:** Curva Granulométrica del árido grueso.



**Tabla 11.** Análisis granulométrico agregado fino

# Tamiz	Dimensión (mm)	Peso Retenido Acumulado (g)	Relativo Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Inferior	Limite Superior
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No. 4	4,75	9,30	9,30	0,47	0,47	99,53	95,00	100,00
No. 8	2,36	157,00	147,70	7,39	7,86	92,14	80,00	100,00
No. 16	1,18	437,30	280,30	14,03	21,89	78,11	50,00	85,00
No. 30	0,60	1016,70	579,40	29,00	50,89	49,11	25,00	60,00
No. 50	0,30	1579,80	563,10	28,18	79,07	20,93	5,00	30,00
No. 100	0,15	1891,70	311,90	15,61	94,68	5,32	0,00	10,00
No. 200		1970,00	78,30	3,92	98,60	1,40	0,00	0,00
PASANTE		1997,90	27,90	1,40	100,00			
		Peso Total	1997,90	100,00				

**Figura 15:** Curva Granulométrica del árido fino



#### 4.1.4 Cemento

El cemento empleado para el desarrollo de este proyecto fue el Holcim Fuerte tipo GU. Este cemento puede ser empleado en cualquier obra civil y cumple con los requerimientos que plantea la normativa (NTE INEN 2380, 2011) en concordancia con la Norma ASTM 1157.

#### 4.1.5 Agua

El agua empleada para la dosificación de las muestras se obtiene de la red de distribución de la ciudad de Riobamba encargada por la empresa EP-EMAPAR que es la organización competente de la dotación del líquido vital en toda la ciudad. Esta red cumple estrictamente con los requisitos (NTE INEN 1108, 2006) o sea no contiene impurezas que puedan interferir con el proceso de fraguado. Se considera limpia y libre de impurezas, y el contenido de sustancias disueltas se encuentra comprendido dentro de los siguientes límites:

- El contenido orgánico máximo es de 3 mg/l (3 ppm).
- Los residuos sólidos no superarán los 5 g/l (5.000 ppm).
- El pH estará entre 5.5 y 8.
- El contenido de sulfato expresado en iones  $\text{SO}_4$  será inferior a 0.6 g/l (600 ppm).
- El contenido de cloruro expresado en iones Cl será inferior a 1 g/l (1.000 ppm).
- La alcalinidad total expresada en  $\text{NaHCO}_3$  será inferior a 1 g/l (1.000 ppm).

## 4.2 Ensayos y dosificaciones de las muestras de hormigón

El ensayo del hormigón debe realizarse partiendo de la determinación de la consistencia de este. Para ello se emplea el ensayo del cono de Abrams, (ver Figura 16). A través de este ensayo se puede evaluar la consistencia del hormigón en su estado fresco y reporta altos porcentos de confiabilidad. Además, el mismo no requiere del empleo de equipos sofisticados y se realiza en poco tiempo.

*Figura 16: Instrumentos para el ensayo de cono de Abrams*



Las dimensiones del cono son estándar (20 cm base, 10 cm de diámetro en la parte superior y 30 cm de altura). Previamente se humedece una superficie plana y el cono es colocado sobre esta. Luego se llena el cono en partes iguales (1/3) de su volumen. Al completarse el llenado del cono, se retira el exceso de hormigón con una regla metálica, y se extrae rápidamente el molde, midiendo el asentamiento presentado por la mezcla de hormigón. En la Figura 17 se observa el asentamiento asumido en esta investigación que es de 11 cm, donde tiene buena trabajabilidad la mezcla siguiendo la normativa ecuatoriana NTE INEN 1578.

*Figura 17: Ensayo de cono de Abrams*



La dosificación empleada para la muestra patrón, sin adición de fibras (H) se muestra en la Tabla 12. El resto de las dosificaciones, para la elaboración de los primeros 28 cilindros se muestra en las tablas 7 y 8. Estas dosificaciones parten de la muestra de referencia para la elaboración de un metro cúbico de hormigón convencional, que proporcionalmente se reduce para la elaboración de la cantidad de mezcla requerida en el ensayo. Luego con el peso total se procede a determinar el peso de fibra a adicionar según los porcentajes definidos.

Para la muestra patrón realizada fue validada en comparación con las recomendaciones técnicas proporcionadas por un portavoz técnico de la planta de hormigón, quien sugirió proporciones típicas para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> siguiendo la normativa ecuatoriana NTE INEN 1578, respetando la trabajabilidad tiempos de mezcla y curado definidos en la normativa, con la muestra se evaluaron parámetros de resistencia a compresión, para el diseño del hormigón se basó en el método de la densidad optima donde determinan la proporción ideal de todos los agregados para lograr una máxima densidad y por ende obtener una máxima resistencia y durabilidad (Bayas, 2025, comunicación personal).

**Tabla 12:** Dosificación para la mezcla de hormigón sin adición de fibras

Hormigón convencional					
Muestra	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
Convencional de 1m <sup>3</sup> de hormigón	420	704	1018	210	0
Probeta patrón	0.76	1.28	1.85	0.4	0

**Tabla 13:** Dosificación empleada para los primeros 14 cilindros con fibras de carrizo

Hormigón con fibra de carrizo (2%)							
Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	2%	2 cm	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2%	5 cm	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2%	8 cm	0.76	1.25	1.82	0.4	83.7
2			0.76	1.25	1.82	0.4	83.7
Hormigón con fibra de carrizo (3%)							

Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	3%	5 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	125
2			0.76	1.24	1.81	0.40	125
Hormigón con fibra de carrizo (4%)							
Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	4%	2 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
1	4%	5 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
1	4%	8 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4

**Tabla 14:** Dosificación empleada para los primeros 14 cilindros con paja de páramo

Hormigón con fibra de paja de páramo (2%)							
Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	2%	2 cm	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2%	5 cm	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2%	8 cm	0.76	1.25	1.82	0.4	83.7
2			0.76	1.25	1.82	0.4	83.7
Hormigón con fibra de paja de páramo (3%)							
Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	3%	5 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	125
2			0.76	1.24	1.81	0.40	125
Hormigón con fibra de paja de páramo (4%)							
Muestra	% Fibra	Longitud	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	4%	2 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
1	4%	5 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
1	4%	8 cm	0.76	1.24	1.81	0.40	167.4
2			0.76	1.24	1.81	0.40	167.4

Posteriormente a ello las muestras fueron sometidas a un proceso de curado tal como se muestra en la Figura 18 y ensayadas a los 7 días. La prueba de resistencia a compresión se efectúa según los requerimientos de la normativa ecuatoriana (NTE INEN 1573, 2010)

**Figura 18.** Curado de las 28 probetas de hormigón



#### 4.2.1 Resultados a compresión con fibras de paja y carrizo independientes

Como ya se había mencionado, luego del curado de las probetas estas se ensayaron a compresión según la norma (NTE INEN 1573, 2010), tal como se mencionaba en la Tabla 2. Los resultados de los mismos se muestran con más detalles e imágenes en el Anexo 3 del presente documento y se resumen en la tabla siguiente:

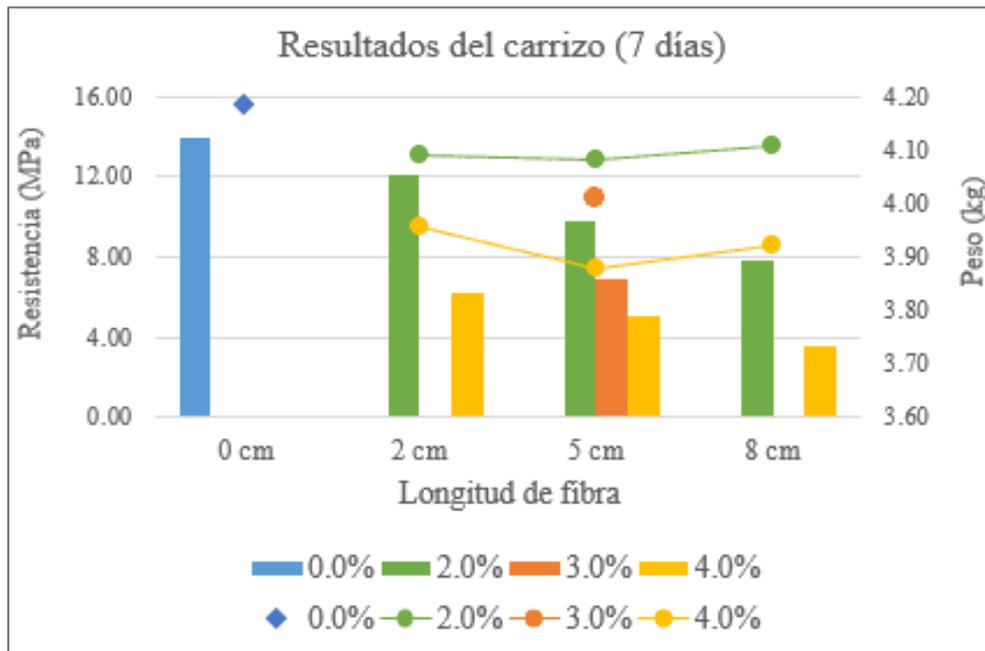
**Tabla 15.** Resumen de la resistencia a compresión de las 28 probetas de paja y carrizo

Fibra	Denominación de la muestra	Longitud de fibra	Resistencia a los 7 días (MPa)		
			2%	3%	4%
Ninguna	H	-	13.825 MPa		
Carrizo	HC	2 cm	12,06		6,18
			12,12		6,32
	HC	5 cm	10,01	6,96	5,16
			9,50	6,74	5,03
	HC	8 cm	7,58		3,68
			7,98		3,44
Paja de páramo	HP	2 cm	12,68		7,86
			12,49		8,19
	HP	5 cm	9,98	7,46	6,15
			9,82	7,31	5,97
	HP	8 cm	6,88		4,16
			6,71		4,23

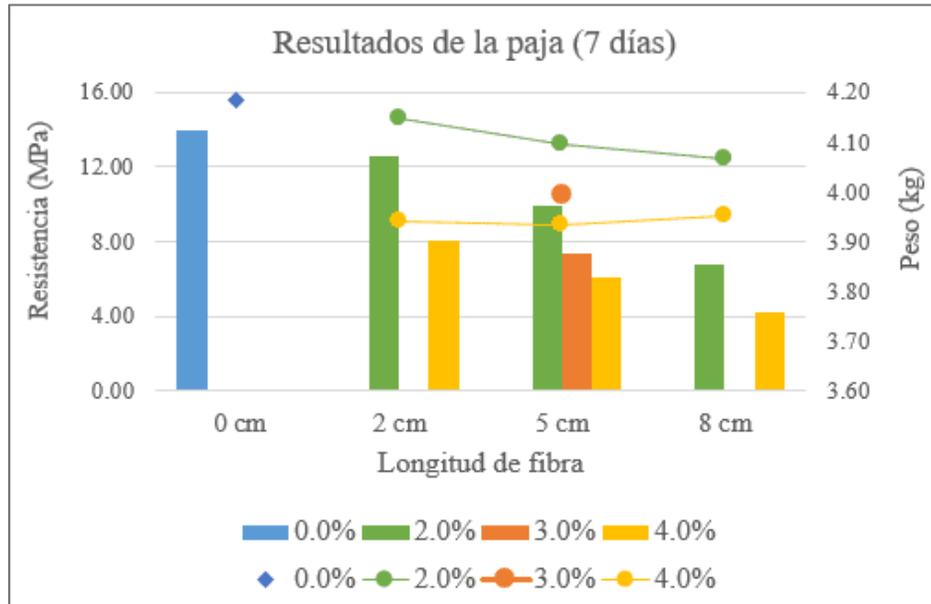
Estas longitudes de la fibra se seleccionaron considerando estudios como Machaka et al., (2022) en el que se emplearon en longitudes de 4 cm y (Albarracín y Arias, 2024) a pesar de tener resultados negativos sugieren no exceder los 6 cm de longitud en la fibra vegetal. También destaca el trabajo de Bastidas (2021) quien emplea la paja de toquilla en una longitud de fibra de hasta 7 cm y comprueba que la resistencia del hormigón se incrementa hasta un 26,67% respecto a la resistencia del hormigón con fibras de yute. También resulta interesante el estudio de Andrade (2018), quien utiliza fibras de bambú, planta similar al carrizo, y emplea una dosificación de 210 gramos de fibra en dimensiones de 4,6 a 8 cm por lo que se decide probar con fibras de hasta 8 cm de longitud

Para una mejor comprensión de los resultados, en las figuras 20 y 21 se aprecian gráficas donde se visualiza el comportamiento del hormigón con las fibras de paja y carrizo. En ellas resulta más práctico comparar los resultados teniendo en cuenta los valores permisibles y de referencia

**Figura 19.** Resistencia a compresión a los 7 días de las muestras con fibra carrizo



**Figura 20.** Resistencia a compresión a los 7 días de las muestras con paja de páramo



En estos gráficos es fácil percibir que en la medida que se incrementa la longitud de la fibra disminuye la resistencia en la mezcla de hormigón y de forma análoga puede decirse que en la medida que se incrementa el porcentaje de fibras añadidas disminuye dicha resistencia. También se observa que ninguna de las muestras ensayadas alcanza el valor de referencia en la muestra patrón, ni tampoco el mínimo requerido por la norma para el ensayo a 7 días. El mejor comportamiento se aprecia en la fibra de 2 cm de longitud, añadida en un 2%, con mejores resultados para el caso de la paja con un valor promedio de aproximadamente 12.68 MPa para el caso de la paja y 12.12 MPa para el carrizo. Por esta razón se selecciona la fibra de 2 cm tanto para la paja como para el carrizo para realizar una dosificación que combine ambas fibras.

Además de la resistencia se analiza el peso de los cilindros para ambas muestras pues al ser la fibra un material ligero puede constituir un aporte en cuanto a la disminución del peso propio del elemento de hormigón. En la figura 19 y 20 pueden apreciarse estos resultados

#### 4.2.2 Resultados a compresión con fibras de paja y carrizo combinadas

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se procede a realizar una combinación de ambas fibras. En este caso se seleccionan los porcentajes globales utilizados con anterioridad, de 2,0 %, 3,0 % y 4,0 % respectivamente. Se incluye también una combinación total de 2.5 % que

utiliza las fibras de paja y carrizo en dosificaciones de 1,0 % y 1,5 % para completar el 2,5 % planteado. En la Tabla 16 se resumen las dosificaciones empleadas para cada una de las combinaciones propuestas. Nótese como se mantienen las relaciones preestablecidas inicialmente desde la dosificación estandarizada de un metro cúbico de hormigón. Al igual que en el caso anterior se realizan 2 muestras por cada dosificación propuesta. Se decide realizar una prueba con una dosificación de fibras de 5 cm, por ser esta la que se encontraba más abundante.

**Tabla 16:** Dosificación empleada para la combinación de fibras de carrizo y paja de páramo

<b>Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo</b>								
<b>Muestra</b>	<b>% Fibra</b>	<b>Longitud de fibra</b>	<b>Combinación de fibras</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Grava (kg)</b>	<b>Agua (kg)</b>	<b>Fibra (gr)</b>
1	2%	5 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.85
			1% carrizo					41.85
2		5 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.85
			1% carrizo					41.85
1	2%	2 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.85
			1% carrizo					41.85
2		2 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.85
			1% carrizo					41.85
1	2,5%	2 cm	1,5% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	62.76
			1% carrizo					41.84
2		2 cm	1,5% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	62.76
			1% carrizo					41.84
1	2,5%	2 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.84
			1,5% carrizo					62.76
2		2 cm	1% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	41.84
			1,5% carrizo					62.76
1	3 %	2 cm	1% paja	0.76	1.24	1.81	0.4	41.66
			2% carrizo					83.33
2		2 cm	1% paja	0.76	1.24	1.81	0.4	41.66
			2% carrizo					83.33
1	4 %	2 cm	3% paja	0.76	1.24	1.81	0.40	125.55
			1% carrizo					41.85
2		2 cm	3% paja	0.76	1.24	1.81	0.40	125.55
			1% carrizo					41.85
1	4 %	2 cm	2% paja	0.76	1.24	1.81	0.40	83.7
			2% carrizo					83.7
2		2 cm	2% paja	0.76	1.24	1.81	0.40	83.7
			2% carrizo					83.7

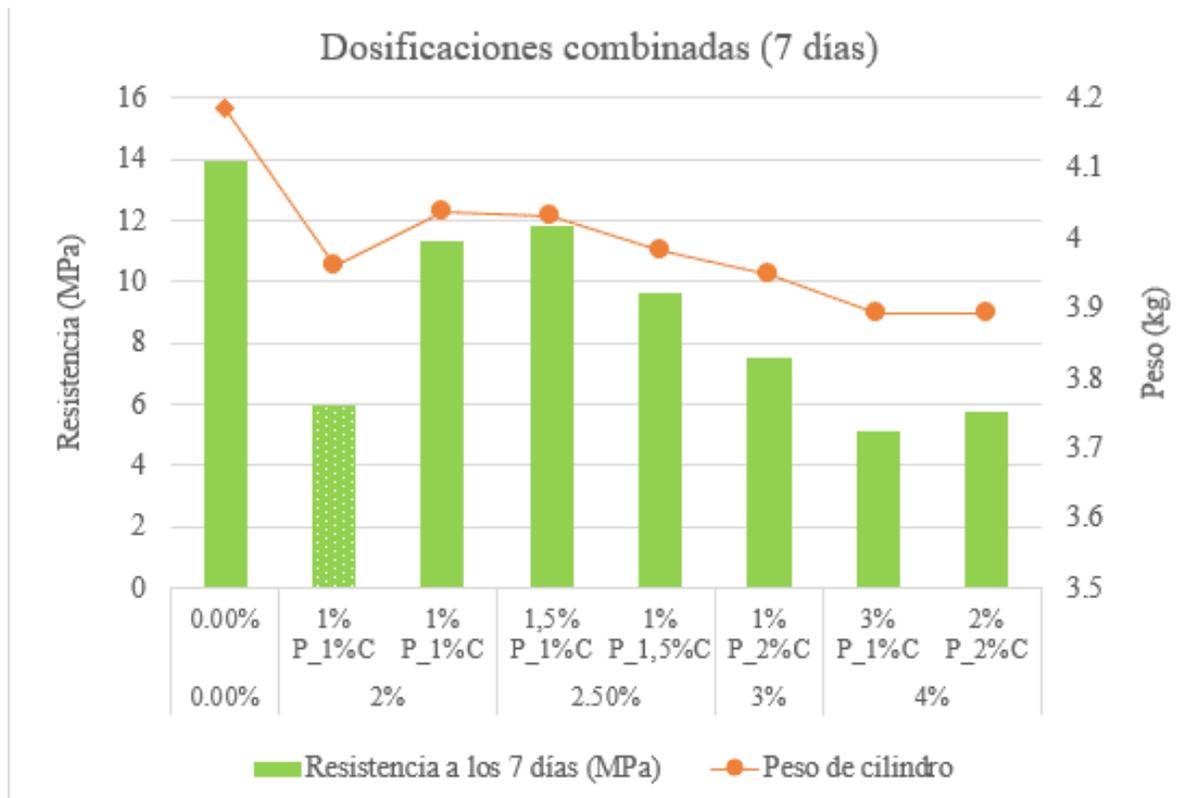
Estas muestras también fueron sometidas a un proceso de curado por inmersión durante 24 horas y se ensayaron a los 7 días. Los resultados del ensayo a compresión se muestran con imágenes en el Anexo 4 del presente documento y se resumen en la tabla 11. Además, puede apreciarse que el tipo de falla predominante es la 2, donde aparecen fisuras verticales que recorren todo el cono, o cilindro en este caso.

**Tabla 17:** Resultados a compresión para la combinación de fibras de carrizo y paja de páramo

Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Combinación de fibras	Peso de cilindro (kg)	Carga aplicada (kN)	Tipo de falla	Resistencia (MPa)
1	2%	5 cm	1% paja	3.97	46,5	2	5.92
			1% carrizo				
2	2%	5 cm	1% paja	3.95	47.2	2	6.01
			1% carrizo				
1	2%	2 cm	1% paja	4.04	89.5	2	11.40
			1% carrizo				
2	2%	2 cm	1% paja	4.03	88.4	2	11.26
			1% carrizo				
1	2,5%	2 cm	1,5% paja	4.00	92.4	2	11.77
			1% carrizo				
2	2,5%	2 cm	1,5% paja	3.97	93.8	2	11.95
			1% carrizo				
1	2,5%	2 cm	1% paja	4.04	76.5	1	9.75
			1,5% carrizo				
2	2,5%	2 cm	1% paja	4.02	74.8	3	9.53
			1,5% carrizo				
1	3 %	2 cm	1% paja	3.99	60.02	1	7.67
			2% carrizo				
2	3 %	2 cm	1% paja	3.91	58.4	2	7.44
			2% carrizo				
1	4 %	2 cm	3% paja	3.85	39.2	2	4.99
			1% carrizo				
2	4 %	2 cm	3% paja	3.93	41.3	3	5.26
			1% carrizo				
1	4 %	2 cm	2% paja	3.91	44.3	3	5.64
			2% carrizo				
2	4 %	2 cm	2% paja	3.88	45.7	2	5.82
			2% carrizo				

Como se observa los resultados están en el orden de los 3 a los 12 MPa, valores todos inferiores a lo estipulado por la norma ecuatoriana. De manera general ninguna de las muestras analizadas supera los valores de resistencia con respecto a la muestra patrón, lo cual hace evidente que las dosificaciones y las características de las fibras propuestas no son las más convenientes. En la figura 21 se resumen gráficamente los resultados, donde destaca la fibra de 5 cm como uno de los resultados más desfavorables.

**Figura 21.** Resistencia a compresión de las muestras combinadas



En la gráfica también se aprecia como la inclusión del 4% expone los resultados más desfavorables. Se puede observar también que el carrizo y la paja en un porcentaje menor tiene buen comportamiento, pero al integrar un mayor porcentaje del 4% la trabajabilidad empieza a bajar la fibra de la paja esto se puede deber a la mezcla realizada. También puede apreciarse como la combinación del 2,5% con predominio en el contenido de paja muestra los mejores resultados con un valor promedio cercano a los 11.86 MPa. Sin embargo, ninguna de las muestras analizadas alcanza los 12,6 MPa mínimo normados para hormigones de 21 MPa. Esto puede deberse a la influencia del tamaño de la fibra en la mezcla, que genera vacíos o zonas propensas a la fisuración, como puede apreciarse en la figura 22 de la probeta una vez rota luego del ensayo a compresión.

**Figura 22:** Probetas con fibra de carrizo, combinado paja + carrizo y paja luego de ser ensayadas



### 4.3 Ensayos y dosificaciones las mejores combinaciones

Luego de realizar las dosificaciones antes expuestas se realiza una propuesta de combinación final cuyas dosificaciones se exponen en las tablas 12, 13 y 14. Estas dosificaciones se realizan con los mejores resultados observados en cada una de las etapas de ensayo realizados hasta el momento, a pesar de que ninguno de ellos alcanza la resistencia del hormigón de referencia. Sin embargo, se mantiene su estudio según el protocolo de investigación propuesto. En esta etapa no solo se analiza el comportamiento a compresión de la mezcla de hormigón, sino que también se realizan vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm y probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm para realizarles el ensayo a flexión y tracción directa respectivamente a los 28 días.

**Tabla 18:** Dosificación empleada con fibras de carrizo para la probeta de 10 cm x 20 cm

Combinación de fibras de paja de páramo y carrizo (cilindro de 10x20 cm)								
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (kg)	Fibra (gr)
1	0,0%	0	0	0.76	1.28	1.85	0.4	0
2			0	0.76	1.28	1.85	0.4	0
1	2 %	2cm	Paja	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			Paja	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2 %	2cm	Carrizo	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
2			Carrizo	0.76	1.28	1.85	0.4	83.7
1	2,5%	2cm	1,5% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	62.76
			1,0% carrizo					41.84
2		2cm	1,5% paja	0.76	1.28	1.85	0.4	62.76
			1,0% carrizo					41.84

**Tabla 19:** Dosificación empleada con fibras de carrizo para la probeta de 15 cm x 30 cm

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 15x30 cm)								
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (l)	Fibra (gr)
1	0,0%	0	0	2,26	3,79	5,49	1,13	0
2			0	2,26	3,79	5,49	1,13	0
1	2 %	2cm	Paja	2,26	3,79	5,49	1,13	402
2			Paja	2,26	3,79	5,49	1,13	402
1	2 %	2cm	Carrizo	2,26	3,79	5,49	1,13	402
2			Carrizo	2,26	1,28	5,49	1,13	402
1	2,5%	2cm	1,5% paja	2,26	3,79	5,49	1,13	301,2
			1,0% carrizo					200,8
2		2cm	1,5% paja	2,26	3,79	5,49	1,13	301,2

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 15x30 cm)								
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (l)	Fibra (gr)
			1,0% carrizo					200,8

**Tabla 20:** Dosificación empleada con fibras de carrizo para la viga de 15cm x 15cm x 60cm

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo (viga de 15x15x60cm)								
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (l)	Fibra (gr)
1	0,00%	0	0	5,67	9,504	13,74	2,84	0
2			0	5,67	9,504	13,74	2,84	0
1	2,0%	2cm	Paja	5,67	9,504	13,74	2,84	593
2			Paja	5,67	9,504	13,74	2,84	593
1	2,0%	2cm	Carrizo	5,67	9,504	13,74	2,84	593
2			Carrizo	5,67	9,504	13,74	2,84	593
1	2,5%	2cm	1,5% paja	5,67	9,504	13,74	2,84	355,8
			1,0% carrizo					237,2
2		2cm	1,5% paja	5,67	9,504	13,74	2,84	355,8
			1,0% carrizo					237,2

#### 4.3.1. Resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días

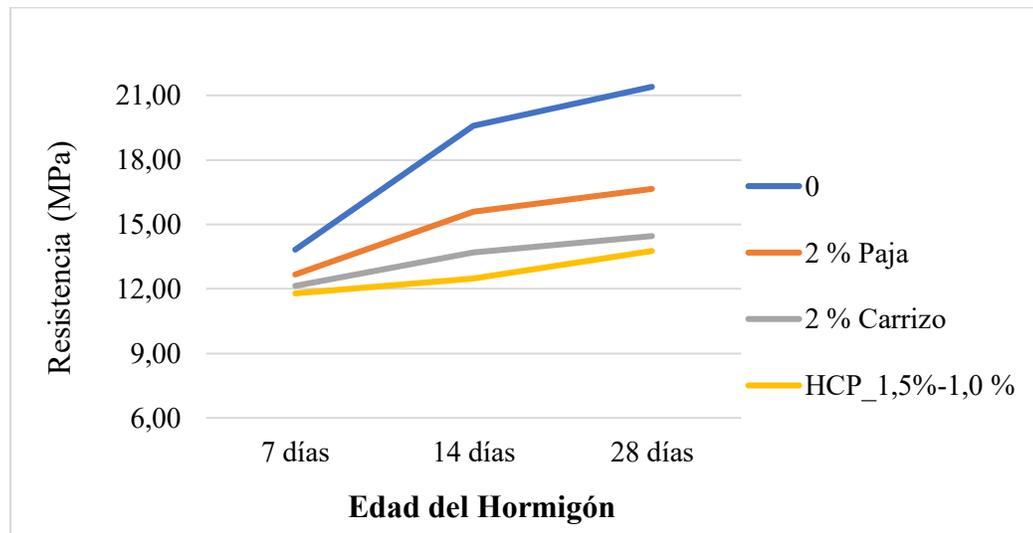
Los resultados del ensayo a compresión de los cilindros a los 7, 14 y 28 días se muestran en la tabla 15 donde se puede apreciar lo expuesto hasta el momento, que las dosificaciones alternativas con fibras no alcanzan los valores de la muestra patrón de referencia. Y destaca el comportamiento de la fibra de paja de páramo respecto al que presenta el carrizo.

**Tabla 21:** Resistencia a compresión de los cilindros de 10 cm x 20 cm

Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Resistencia (MPa)		
				7 días	14 días	28 días
1	0	0	0	13.96	19.63	21.47
2	0	0	0	13.69	19.52	21.33
1	2 %	2cm	Paja	12.71	15.52	17.08
2			Paja	12.62	15.68	16.22
1	2 %	2cm	Carrizo	12.18	13.65	14.21
2			Carrizo	12.10	13.74	14.71
1	2,5%	2cm	1,0% paja	11.86	12.42	13.91
			1,5% carrizo			
2	2,5%	2cm	1,0% paja	11.72	12.56	13.62
			1,5% carrizo			

La figura 23 presenta la resistencia en las distintas mezclas de hormigón, mostrando un ligero incremento con el transcurso del tiempo, sin embargo, ninguna de las muestras con fibra alcanza los valores de referencia. Nótese como la curva correspondiente a la resistencia de la mezcla con fibras de paja solamente es la más cercana a la muestra patrón. Además, se aprecia que para la dosificación combinada la resistencia a los 14 días resulta inferior a los valores esperados.

**Figura 23:** Comportamiento a compresión de las mezclas de hormigón a diferentes edades



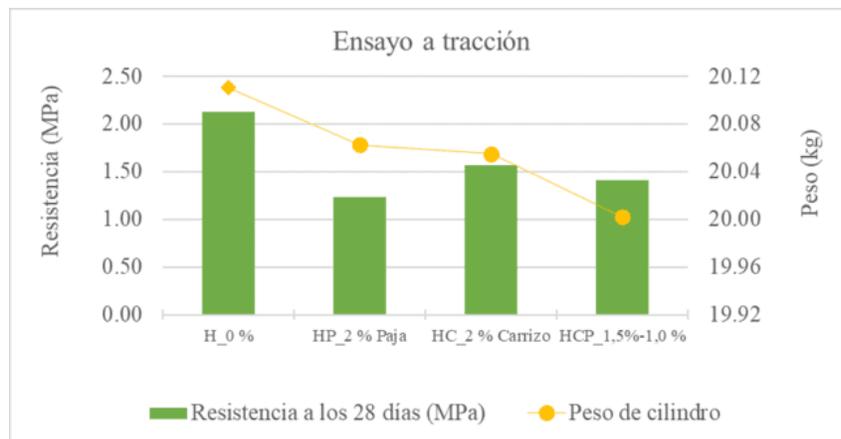
### 4.3.2 Ensayo a tracción indirecta

En el caso del ensayo a tracción se emplean los cilindros de 15 cm x 30 cm. Los resultados se muestran en la tabla 16, donde se aprecia como en la medida que se incrementa el contenido de fibras disminuye el peso de la masa de hormigón en el cilindro. Resalta en este caso como las muestras con 2% de carrizo alcanzan los valores más cercanos a las muestras de referencia. En la figura 25 se ilustran gráficamente estos resultados.

**Tabla 22.** Resultados del ensayo a tracción en cilindros de 15 x 30cm

Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga máxima (kN)	Resistencia (MPa)
1	0.0	0	0	20.1	151.15	2.14
2			0	20.12	149.90	2.12
1	2 %	2cm	Paja	20.06	87.69	1.24
2			Paja	20.065	86.19	1.22
1	2 %	2cm	Carrizo	20.054	110.15	1.56
2			Carrizo	20.056	111.50	1.58
1	2,5%	2cm	1,5% paja	20.003	99.02	1.40
			1,0% carrizo			
2		2cm	1,5% paja	20.001	99.80	1.41
			1,0% carrizo			

**Figura 24.** Esfuerzo máximo a tracción y peso de los cilindros de 15 x 30 cm



Se observa también como las muestras con paja arrojan los resultados más desfavorables y el carrizo, aunque no alcanza los valores de la muestra patrón, en este caso no resulta diferente como en los ensayos anteriores.

### 4.3.3 Ensayo a flexión

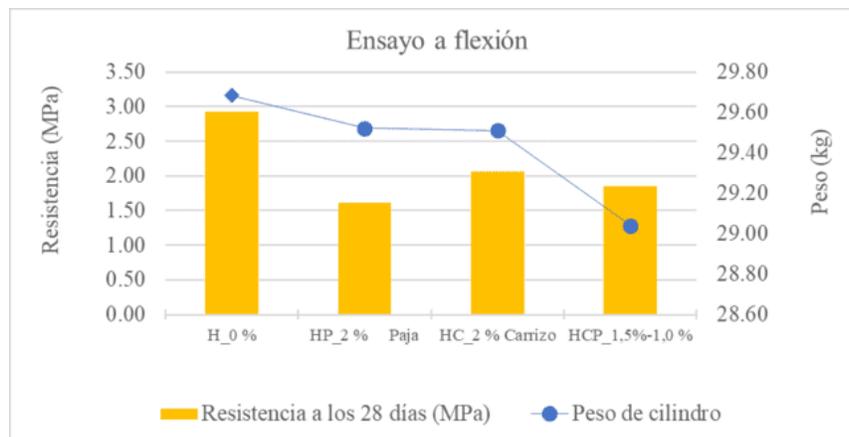
Para el ensayo a flexión se emplean las dosificaciones antes señaladas y se utilizan moldes tipo vida de 15 x 15 x 60 cm. Los resultados alcanzados en el ensayo se resumen en la tabla 17 y en la figura 26 se recoge el promedio de los valores en un gráfico de barra, como mismo se realizó para el ensayo a tracción.

*Tabla 23. Resultados del ensayo a flexión en vigas de 15 x 15 60 cm*

Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga máx. aplicada (kN)	Resistencia (MPa)
1	0.0	0	0	29.69	22.39	2.92
2			0	29.67	22.55	2.94
1	2 %	2cm	Paja	29.52	11.80	1.54
2			Paja	29.53	12.89	1.68
1	2 %	2cm	Carrizo	29.51	15.79	2.06
2			Carrizo	29.50	15.71	2.05
1	2,5%	2cm	1,5% paja	29.02	14.19	1.85
			1,0% carrizo			
2	2,5%	2cm	1,5% paja	29.06	14.12	1.84
			1,0% carrizo			

En este caso también se percibe como el peso, o la densidad del hormigón disminuye en la medida que se incrementa el contenido de fibras. De manera análoga con los resultados alcanzados hasta la fecha, ninguno de los valores alcanza la muestra de referencia. El carrizo sigue mostrando los mejores resultados.

*Figura 25. Esfuerzo máximo a flexión y pesos en vigas de 15 x 15 x 60 cm*



## 4.4 Discusión

### 4.4.1 Caracterización

En la presente investigación en cuanto a caracterización de las fibras empleadas se obtuvo que en el caso de la fibra de carrizo la muestra 2 de (5,10 cm) de longitud presentó mayor módulo elástico (3,963 GPa), mientras que la muestra 3 de longitud (8,70 cm) mostró mayor deformación (2,266 %). Esto sugiere que la resistencia no depende solo del diámetro, sino de otros factores estructurales. En las investigaciones realizadas por Mora-Espinosa et al. (2017) se encuentra que, de cinco fibras naturales colombianas estudiadas, la caña flecha y guérregue, presentaban resistencias a tracción alrededor de 50 MPa. Estos resultados son similares a los de la presente investigación los cuales están en un promedio de 52,44 MPa para longitudes estudiadas.

Además, los estudios realizados por Mora-Espinosa et al. (2017) observaron que la microestructura interna (como el lumen y la pared celular) influye significativamente en las propiedades mecánicas. Esto coincide con la observación obtenida en la fibra de carrizo con relación a que el diámetro no es el único factor determinante en la resistencia del carrizo.

En cuanto a la paja de páramo se determinó que la muestra 1 de diámetro (1,16 mm) soportó mayor tensión (22,928 MPa) y presentó el mayor módulo elástico (4,425 GPa). Estos resultados son superiores y difieren de los encontrados por Ramos & Viera (2023) ya que en su investigación encontró que la máxima tensión alcanzada es de 5.92 MPa y que el módulo de elasticidad fue de 0.425 GPa (valores muy inferiores a los alcanzados en esta investigación), esto se debe a la recolección de la fibra, reposado, curado y al tamaño de la fibra que influyen mucho en los resultados. No obstante, con estos valores inferiores a los del presente estudio demostró que la paja puede ser usada como componente estructural en sistemas compuestos, especialmente en edificaciones sostenibles.

### 4.4.2 Dosificación

En cuanto a dosificación del hormigón en este estudio, se obtuvo en el ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams un valor de 11 cm donde tiene buena trabajabilidad siguiendo la normativa Ecuatoria NTE INEN1578, lo cual indica una consistencia plástica adecuada para aplicaciones convencionales. Bastidas Ñacato y Verdezoto Borja (2021), quienes evaluaron el uso de fibras de *Carludovica palmata* (paja toquilla), obtuvieron que la incorporación de fibras naturales en porcentajes entre 1% y 3% mejora la resistencia a compresión y flexión, aunque

también señalaron una disminución en la trabajabilidad a medida que aumentaba la cantidad de fibra. Esto coincide con los resultados observados en la presente investigación, donde se ajustaron las proporciones de arena y grava para mantener la relación de agua cemento para compensar la incorporación de fibras, especialmente en las mezclas con 4% que baja la resistencia de la probeta de hormigón eso se debe al tamaño de la fibra que fue incluido de 8 cm de longitud.

Por su parte, Medina Sáenz y Alata Navarro (2023) demostraron que el uso de fibras naturales como la chillihua y zanahoria es comparable con el carrizo de nuestra investigación y nos dice que puede mejorar significativamente la resistencia a la compresión, flexión y durabilidad del concreto, siempre que se mantenga un equilibrio adecuado en la dosificación, lo cual constituye una referencia para el presente trabajo ya que se trata de igual manera de fibras naturales de origen vegetal. En su estudio, la incorporación óptima fue del 0.5% al 2%, dependiendo del tipo de fibra, lo cual indica una de las razones por las que se empleó el 2 % de adicción de fibras. Por otro lado, este rango de valor óptimo sugiere que el uso de porcentajes más altos, como los empleados en este trabajo, requiere un control más riguroso de la mezcla para evitar segregación y pérdida de cohesión. Este último aspecto constituye un indicador para la selección de muestras con fibras de carrizo y paja de páramo combinado empleando menores porcentajes en la mezcla.

La dosificación empleada en esta investigación se encuentra en el límite superior de lo recomendado por la literatura técnica, siendo coherente con estudios previos que han explorado el uso de fibras vegetales. Es importante ajustar las proporciones de los agregados y controlar cuidadosamente el proceso de mezclado para evitar segregación y asegurar una distribución uniforme de las fibras (Medina Sáenz y Alata Navarro 2023).

La investigación desarrollada por Albarracín, et al., (2024) conformó dos dosificaciones empleando fibras cortas de carrizo (no especifica longitud) y un porcentaje de 1.5% de fibras de carrizo, distribuidos de forma aleatoria. En la primera dosificación se empleó 0,9456 kg de carrizo y en la segunda 2,007 kg. En estas a los 7 días el hormigón convencional exhibe una resistencia a la compresión y a la flexión superior y a los 14 días, aunque se aprecia un incremento notable sigue siendo inferior a la muestra convencional, lo que demuestra que estas dosificaciones empleadas afectan considerablemente en la resistencia a la compresión y en la resistencia a la flexión, por lo tanto, no es factible.

#### **4.4.3 Fibras de carrizo**

Las mezclas con fibras de carrizo al 2% y longitud de 2 cm mostraron un desempeño superior en comparación con las demás mezclas con fibras naturales. A los 28 días, alcanzaron resistencias de 17.08 MPa y 16.22 MPa, siendo las más cercanas a la mezcla patrón (21.47 MPa y 21.33 MPa). Este comportamiento puede atribuirse a la rigidez y estructura longitudinal del carrizo, que favorece una mejor transferencia de esfuerzos dentro de la matriz cementicia, además de que el comportamiento a tracción de esta fibra fue muy superior al de la paja.

Flores (2024) evaluaron el uso de fibra de carrizo en mezclas de afirmado (base para pavimentos). Con una dosificación del 0.8%, se logró un CBR del 97.8%, mejorando significativamente la capacidad de carga del suelo. Aunque no se enfocaron en tracción directa, sus resultados respaldan la viabilidad estructural del carrizo como refuerzo natural en materiales de construcción.

#### **4.4.4 Fibras de paja de páramo**

Las mezclas con paja de páramo al 2% mostraron resistencias significativamente menores: 14.21 MPa y 14.71 MPa a los 28 días. Aunque estas fibras aportan cierta ductilidad y control de fisuración, su estructura más blanda y menos uniforme podría explicar la menor capacidad de refuerzo frente a cargas de flexión compresión. Unido a ello se encuentran los resultados obtenidos en la caracterización de las fibras donde la paja presenta los resultados más bajos de resistencia a tracción indirecta.

Bastidas Ñacato y Verdezoto Borja (2021) observaron un comportamiento similar al de la paja de páramo al trabajar con fibras de *Carludovica palmata*. Con el empleo de la fibra (paja toquilla) se utilizó porcentajes de 0,1 a 0,4 % obtuvo la mayor resistencia a compresión para el porcentaje de 0,2 % partiendo de una resistencia base de 228,2 kg/cm<sup>2</sup>. Al superar este porcentaje de fibra vegetal existe una reducción considerable de la resistencia a compresión 189,8 kg/cm<sup>2</sup> para 0.3% y 178,5 kg/cm<sup>2</sup> para 0.4%. Aunque los porcentajes empleados en este estudio son mayores corroboran lo obtenido por Ñacato y Verdezoto Borja (2021) ya que con el empleo de porcentos de paja de carrizo en el orden de 2%, 3% y 4% alcanzan resistencia de 120 kg/cm<sup>2</sup>, 69,6 kg/cm<sup>2</sup> y 34,4 kg/cm<sup>2</sup>. En ambos casos la mejora en resistencia fue limitada y dependiente del porcentaje y tipo de fibra. En este caso, la paja de páramo parece tener un efecto más negativo en la resistencia que el carrizo, posiblemente por su menor rigidez. También la disminución de la resistencia a

medida que aumenta el porcentaje de paja puede deberse a la formación de vacíos y a la dificultad en la adecuada dispersión.

#### **4.4.5 Combinación de fibras (paja + carrizo)**

La mezcla combinada (1.5% carrizo + 1.0% paja) presentó los valores más bajos de resistencia a compresión: 13.91 MPa y 13.62 MPa a los 28 días. Este resultado sugiere que la combinación no generó un efecto sinérgico, sino más bien una interferencia en la distribución de esfuerzos. La mezcla heterogénea de fibras con diferentes propiedades físicas puede haber dificultado la compactación y cohesión de la mezcla, generando zonas débiles, asociadas quizás también al hecho de que la orientación de las mismas es aleatoria.

En este sentido en la Universidad de Sipán en el año 2023 se estudió el uso combinado de fibra de neumático tratado (FNNT) y fibra vegetal (FV) en concreto. Aunque en este caso incluye una fibra no vegetal (neumático tratado), se evaluó su combinación con fibra vegetal, obteniendo que con 5% de FNNT y 1% de FV se produce un incremento del 28% en resistencia a la compresión y reducción del 20% en absorción de agua, además mejora del 15% en módulo de elasticidad dinámico.

Por otro lado, Medina Sáenz y Alata Navarro (2023) analizaron el uso de fibras naturales como zanahoria, chillihua y aloe vera en concreto. En su estudio, la resistencia a compresión mejoró hasta un 12.32% con la adición de cenizas de bagazo de caña, y la resistencia a flexión aumentó más del 20% con fibras vegetales. Esto sugiere que el tipo de fibra y su tratamiento son factores críticos. En contraste, en el presente estudio, ninguna combinación de fibras alcanzó mejoras significativas.

En este caso pudo jugar un papel importante la orientación de las fibras ya que influyen directamente en su resistencia mecánica esto se debe a que las fibras actúan como interior y la efectividad no solo depende del material sino del tamaño, diámetro y como se distribuye las fibras dentro de la mezcla. En esta investigación se realiza de forma aleatoria sin una orientación dirigida con precisión. Algarra, et al., (2017) encuentra a través de la tomografía computarizada (TAC) una correlación directa entre la orientación favorable de las fibras y el aumento de la resistencia residual a tracción. Las fibras alineadas en la dirección de los esfuerzos principales contribuyen de forma más efectiva a resistir la propagación de grietas (Algarra, et al., 2017).

Por esta razón se puede continuar buscando una combinación donde se complementen las propiedades que aportan ambas fibras, que, aunque ninguna alcanza los valores de la muestra

patrón sí podrían emplearse en aplicaciones que requieran hormigones de menores prestaciones como por ejemplo aceras o rellenos.

#### **4.4.6 Porcentaje añadido y tamaño**

La resistencia obtenida a los 7 días con la inclusión de la fibra de carrizo se obtiene una disminución de la resistencia en la medida que se incrementa la longitud y el porcentaje de fibras añadido en la mezcla de hormigón. En consecuencia, los mejores resultados de resistencia se obtienen al añadir el 2 % a la mezcla constatándose con lo referido por Martínez et al., (2018), y Bastidas et al., (2021). En el este último trabajo de Bastidas (2021), se evaluó el efecto de fibras de *Carludovica palmata* (paja toquilla) en hormigones de 21 MPa. Se encontró que, aunque la resistencia a compresión disminuyó con la inclusión de fibras, la resistencia a flexión mostró una mejora leve con porcentajes bajos (1-2%) de fibra, especialmente cuando se utilizaban fibras tratadas. Este comportamiento es parcialmente coherente con los resultados del presente estudio, donde la paja de páramo mostró un mejor desempeño que el carrizo a compresión y viceversa a flexión.

Por otro lado, los resultados muestran que fibras de 2 cm y porcentajes bajos (2-2.5%) ofrecen el mejor compromiso entre trabajabilidad y resistencia. Longitudes mayores (5-8 cm) y porcentajes superiores al 3% generaron mezclas más porosas y con mayor tendencia a la fisuración. Esto coincide con lo reportado por los autores Martínez et al. (2018) y García y Pérez, (2017) donde se ha observado que fibras largas tienden a entrelazarse y formar vacíos, reduciendo la densidad del hormigón. En el caso de la presente investigación, pese al empleo de estas fibras en el rango señalado (20 y 50 mm) se obtuvieron mejores resultados en las de 20 mm para ambas fibras y una tendencia a disminuir la resistencia cuando se incrementa la longitud y los porcentajes de inclusión en la mezcla.

Al comparar las probetas de hormigón sin fibras y con mezclas que incluyen fibras naturales (paja de páramo y carrizo de longitudes de 2 cm, 5 cm y 8 cm), se observa una disminución moderada en el peso del material, esto se debe también al agregar fibras combinadas ya se de carrizo y paja de paramo, podemos observar en los resultados una reducción no es extrema de los pesos, pero sí significativa. Las fibras naturales, al ser más livianas que los agregados minerales, disminuyen la densidad total del hormigón. Sin embargo, la pérdida de peso se ve compensada parcialmente por el volumen que ocupan, especialmente a mayor longitud.

#### **4.4.7 Tracción y flexión**

En el caso del ensayo a tracción indirecta y a flexión, se observa un resultado más coherente respecto a los valores reportados en la caracterización a tracción de dichas fibras, pues las probetas de hormigón con la incorporación de carrizo muestran mejor comportamiento que las probetas con paja. En el caso de la combinación se observa que el comportamiento no es mejor al de las muestras solas con carrizo, pero si mejor a las de solas con paja, lo que remarca el hecho de que el carrizo aporta mejoras en el comportamiento a tracción y flexión, aunque en ninguno de los casos se alcanzan los valores de la muestra patrón.

El estudio realizado por Albarracín, et al., (2024) refiere valores de resistencia a la flexión similares a los obtenidos en este estudio, pues no se alcanzan los valores de la muestra patrón. Las vigas con fibras de carrizo cortas presentaron un valor promedio en el orden de 4,04 MPa para un porcentaje de 1,5%, mientras que en el presente estudio las muestras con carrizo tienen valores en el orden de 1.23 MPa para 2% de paja y 1.57 Mpa para 2% de fibra de carrizo. Aunque en el presente estudio el carrizo mostró un comportamiento más favorable que la paja, aunque sin alcanzar los valores de referencia concuerdan con los valores de resistencia de la muestra convencional.

En cuanto a los ensayos obtenidos a tracción directa, estos sugieren que el carrizo podría tener un mejor efecto en propiedades relacionadas con la ductilidad y la absorción de energía, más que en la resistencia pura a compresión como se ha podido constatar con los autores García y Pérez, (2017), Martínez et al. (2018) y Albarracín, et al., (2024).

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Las fibras de carrizo estudiadas presentaron valores de resistencia a tracción de 52.44 MPa y módulo de elasticidad de 3.905 GPa, valores significativamente superiores a los de la paja, que registró 11.546 MPa y 3.750 GPa respectivamente, aunque inferiores en otros estudios por lo que pudiera continuar profundizando en estudios con diferentes combinaciones sobre todo en el caso de la paja que tiene mayor disponibilidad en la región

Se evalúan diversas dosificaciones variando las variables: porcentaje de adicción, tipo de fibra y tamaño de estas. Los análisis se realizaron atendiendo a las normativas vigentes en cuanto a la elaboración de hormigones. Con los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- Tanto la inclusión de fibras de carrizo y paja de páramo con longitudes de 2, 5, y 8 cm en los porcentajes propuestos no resulta factible en mezclas de hormigón
- En la medida que se incrementa el porcentaje y la longitud de la fibra disminuye la resistencia a compresión de la mezcla de hormigón
- Las mezclas de hormigón con fibras de paja de páramo de 2 cm de longitud y en proporciones inferiores al 2%, aunque no supera los valores de referencia si presenta un mejor comportamiento a compresión que aquellas que incorporan el carrizo tanto en las muestras independientes como en las combinaciones con porcentajes de paja de páramo.
- En el caso de la resistencia a tracción y a flexión, el carrizo añadido en un 2% presenta los mejores resultados, representando un 73.63% y un 70.25% del valor de la muestra patrón respectivamente.
- En el caso del peso se observa que al incrementar el contenido de fibras disminuye ligeramente el peso de la muestra de hormigón, pero en ninguna de las combinaciones analizadas se disminuye en más del 5% respecto a la muestra de referencia.

## 5.2 Recomendaciones

- Sobre la base de los resultados alcanzados se recomienda continuar profundizando en el tema y realizar ensayos con fibras de menor tamaño y en porcentajes inferiores a los estudiados, ensayos con 0,5 % y 1 % pueden constituir puntos de partida en nuevas investigaciones para la adición de fibras.
- Investigar la inclusión de la fibra en tamaños inferiores a 2 cm de longitud, pero como sustitutos de un porcentaje de cemento o árido fino, es decir, reducir la fibra a valores granulométricos de árido fino y caracterizarla como tal para proponer sustituir un porcentaje del árido y evaluar así el comportamiento mecánico de la mezcla.
- Realizar la tomografía computarizada (TAC) con el fin de obtener la correlación directa entre la orientación de las fibras y la resistencia residual a tracción.
- Analizar el impacto económico que puede tener la disminución del peso del hormigón, sobre todo en aspectos asociados a la transportación, la inclusión de fibras en hormigones que requieran baja resistencia como por ejemplo aceras expuestas a condiciones ambientales favorables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín Calderón, S. A., & Arias Quezada, D. B. (2024). *Análisis comparativo de propiedades y costos, entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo*. Tesis de grado, Universidad de Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Aazuay, Ecuador. Recuperado el 10 de abril de 2025, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14580>
- Álvarez, P. P. (2016). *Aplicaciones estructurales del hormigón con fibras en edificaciones. Introducción al hormigón reforzado con fibras*.
- Arancelarias, N. 3. (2013). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Lima.
- Bastidas Ñacato, E. D., & Verdezoto Borja, J. J. (2021). *Efecto de fibras naturales de Carludovica palmata (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPA*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20267>
- Bautista et al., L. A. (2022). *Análisis de la influencia de las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico con ceniza de carrizo en el diseño de pavimento rígido con el método de la Portland Cement Association (PCA) en la av. Próceres del distrito Chilca - Huancayo - 2021*. Tesis de titulación para Ingeneira Civil, Huancayo.
- Carranza Cortez & Tasilla López, F. T. (2022). *Incorporación de fibra de carrizo y silicato sódico para mejorar la*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/107384>
- Chanastasiq, Y. N. (2020). *Aprovechamiento de la paja de páramo como material de fabricación de objetos*. Trabajo de Diploma para obtener título de Ingeniero Industrial , Ecuador.
- Chen, H. (2024). Influencia de la longitud y la dosificación de la fibra de caña en las propiedades del betún modificado con fibra de caña y del mortero bituminoso. *Buildings*, 3.
- Cheng, A. C. (2013). *Características mecánicas de hormigones reforzados con fibras a edades muy tempranas*. Trabajo de Investigación CST/MIH-0X, Valencia .
- Das, D. B. (2008). *Advanced Soil Mechanics*. New York,USA: British Library.
- Fernández, z. C. (2015). *Metodología de la investigación*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/269107473\\_What\\_is\\_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0A](https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0A): <http://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil>

- wars\_12December2010.pdf%0Ahttps://thinkasia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625.
- León. (12 de marzo de 2009). *Diseño de mezclas para Hormigón Autocompactante*. Obtenido de Diseño de mezclas para Hormigón Autocompactante.
- Llerena, E. A. (2014). *Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales: Evaluación previa del comportamiento de un panel de cemento blanco con adición de meta-caolín reforzado con un textil no-tejido de fibras largas de lino y cáñamo*. Trabajo de Fin de Máster .
- Machaka et al., M. K. (2022). The Effect of Adding Phragmites australis Fibers on the Properties of Concrete. *buildings*, 2. Obtenido de Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/3/27>
- Palacios Sacoto, V. M., & Patiño Condo, E. S. (2025). *Desarrollo de prototipos para aislación térmica hechos con fibras de carrizo y resina polimérica: Análisis de sus propiedades físicas y mecánicas*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca, Ecuador. Recuperado el abril de 2025, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/46061>
- Rawan et al., R. J.-H. (2023). Improving Structural Performance of Reinforced Concrete Beams with Phragmites Australis Fiber and Waste Glass Additives. *applied sciences*,. Obtenido de Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/7/4206>
- Salinas, N. E. (2015). *Estudio de hormigones de alta resistencia y su incidencia en la durabilidad de la capa de rodadura de las vías en el cantón ambato provincia de Tungurahua*. Tesis de grado, Ambato.
- Viera, L. P. (Marzo de 2021). *Bioconstrucciones con Fardos de Paja*. (U. T. Ambato, Editor) Obtenido de Ciclo de conferencias "El conocimiento no se detiene": <https://construccionesuce.wordpress.com>

# ANEXOS

## Anexo 1. Informe de resistencia a tracción de la fibra de carrizo

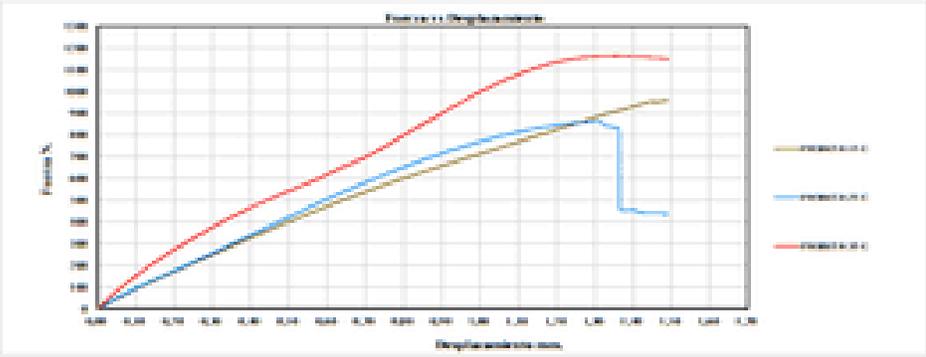



Comisión del Carrizo		Laboratorio de Materiales		Fecha: 07/05/2023	
Empresa / Cliente	CONSEJO REGIONAL DE	Subcontrato: Encargado de Materiales		Método de ensayo: N° 1004	
Fecha de inicio	29-Mar-2023	Designación del material: Carrizo			

#	Muestra (Nombre de producto)	Temp (°C)	Humedad relativa (%)	Dimensiones (mm)		Fuerza máxima (N)	Elongación máxima (mm)	Tenacidad máxima (MJ/m²)	Módulo Elástico (MPa)	% de deformación máxima
				Ancho	Espesor					
1	100	75,2	70,3	10,00	1,00	107,0000	1,3000	1,300000	0,0000	1,0000
2	200			10,00	1,00	100,0000	1,0000	1,000000	0,0000	0,0000
3	300			10,00	1,00	110,0000	1,0000	110,0000	1,0000	1,0000
				<b>Mediana</b>		100,0000	1,0000	1,000000	0,0000	0,0000
				<b>Modo</b>		107,0000	1,3000	1,300000	0,0000	1,0000
				<b>Desviación estándar</b>		15,0000	0,1000	0,0000	0,0000	0,0000
				<b>Coefficiente de variación</b>		0,1500	0,0769	0,1000	0,0000	0,0000
				<b>Mediana</b>		110,0000	1,0000	110,0000	0,0000	1,0000
				<b>Modo</b>		100,0000	1,0000	100,0000	0,0000	1,0000
				<b>Range</b>		100,0000	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000



**ANEXOS FOTOGRAFICOS**







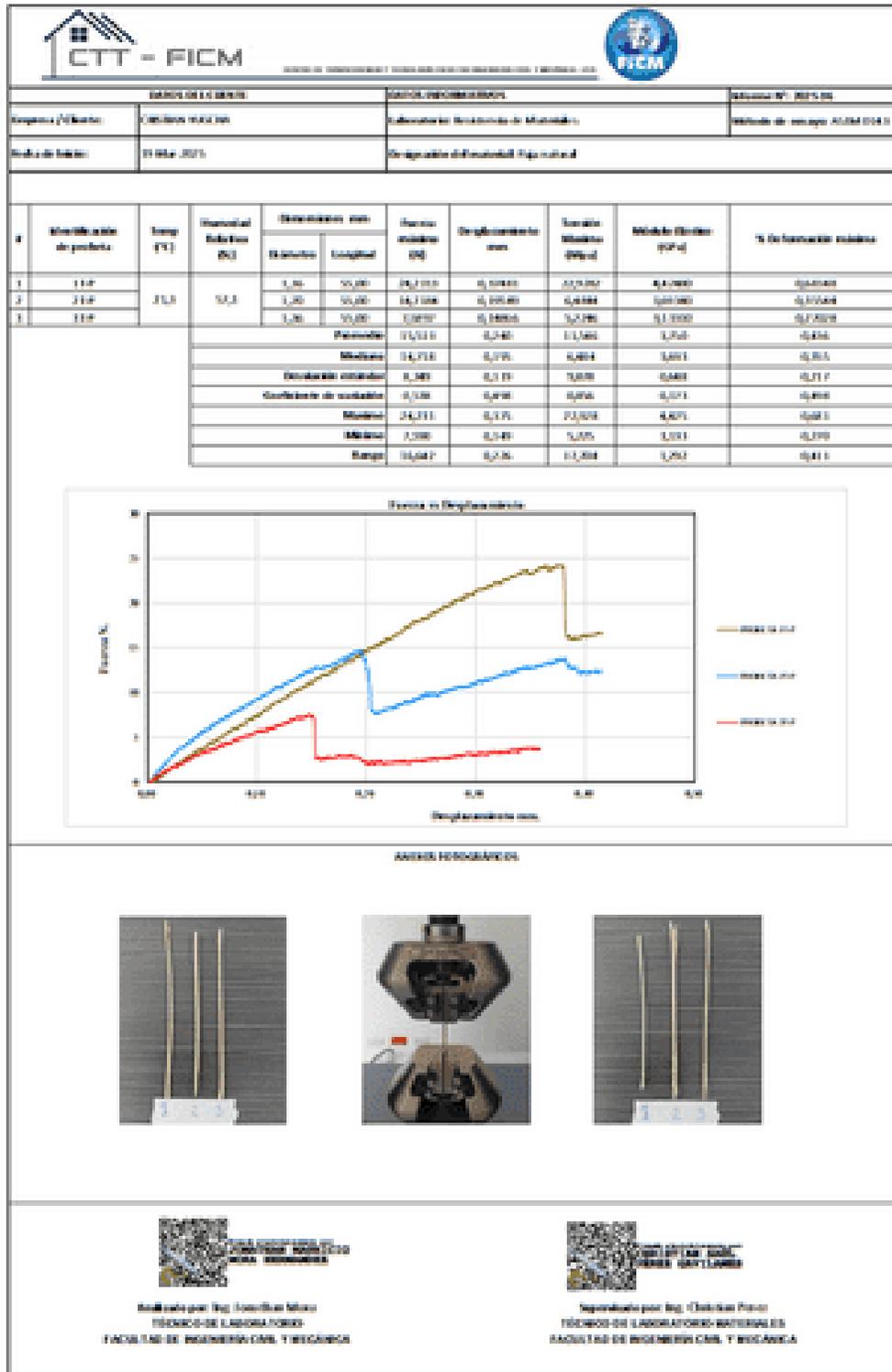
Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.

Desarrollado por Ing. José Luis Mora  
 TÉCNICO DE LABORATORIOS  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Desarrollado por Ing. Christian Pizarro  
 TÉCNICO DE LABORATORIOS MATERIALES  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

## Anexo 2. Informe de resistencia a tracción de la paja de páramo y el carrizo



**Anexo 3. Ensayo a compresión a los 7 días de las primeras muestras**

Hormigón convencional						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	0	0	4,185	109.5	1	

**Anexo 2. Ensayo a compresión de los primeros 28 cilindros a los 7 días**

Hormigón con fibra de Carrizo (2%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	2%	2 cm	4,082	92.4	1	

2			4,0989	95.2	3	
1	2%	5 cm	4,057	78.6	2	
2			4,111	74.6	2	
1	2%	8 cm	4,147	59.5	2	

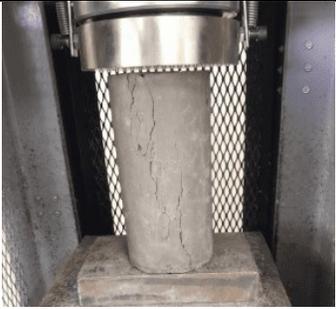
2			4,074	62.7	2	
---	--	--	-------	------	---	---

Hormigón con fibra de Carrizo (3%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	3%	5 cm	3,994	54.7	1	
2			4,024	52.9	1	

Hormigón con fibra de Carrizo (4%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro

1	4%	2 cm	3,942	48.5	1	
2			3,969	49.6	2	
1	4%	5 cm	3,878	40.5	1	
2			3,878	39.5	2	

1	4%	8 cm	3,908	28.9	1	
2			3,936	27	1	

Hormigón con fibra de Paja de páramo (2%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	2%	2 cm	4,149	99.6	3	

2			4,146	98.1	3	
1	2%	5 cm	4,114	78.4	3	
2			4,078	77.1	2	
1	2%	8 cm	4,018	54	2	

2			4,111	52.7	2	
---	--	--	-------	------	---	---

Hormigón con fibra de Paja de páramo (3%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	3%	5 cm	4,002	58.6	2	
2			3,989	57.4	1	

Hormigón con fibra de Paja de páramo (4%)						
Muestra	% Fibra	Longitud de fibra	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	Rotura de cilindro
1	4%	2 cm	3,968	61.7	2	
2			3,914	64.3	1	
1	4%	5 cm	3,935	48.3	2	

2			3,934	46.9	2	
1	4%	8 cm	4,034	32.7	1	
2			3,866	33.2	1	

**Anexo 4. Ensayo a compresión de las muestras combinadas a los 7 días**

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo							
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga aplicada a los 7 días (KN)	Tipo de falla	
1	2%	5 cm	0.01% paja	3,973	46.5	2	
			0.01% carrizo				
2	2%	5 cm	0.01% paja	3,946	47.2	2	
			0.01% carrizo				
1	2%	2 cm	0.01% paja	4,042	89.5	2	
			0.01% carrizo				
2	2%	2 cm	0.01% paja	4,032	88.4	2	
			0.01% carrizo				
1	2,5%	2 cm	0.015% paja	3,999	92.4	2	
			0.01% carrizo				

2		2 cm	0.015% paja	3,96 6	93.8	2	
			0.01% carrizo				
1	2,5 %	2 cm	0.01% paja	4,04	76.5	1	
2		2 cm	0.01% paja	4,02 3	74.8	3	
			0.015% carrizo				
1	3%	2 cm	0.01% paja	3,98 5	60,2	1	
2		2 cm	0.01% paja	3,91 4	58.4	2	
			0.02% carrizo				
1	4%	2 cm	0.03% paja	3,85 4	39.2	2	
2		2 cm	0.03% paja	3,93	41.3	3	

			0.01% carrizo				
1	4%	2 cm	0.02% paja	3,90 7	44.3	3	
			0.02% carrizo				
2		2 cm	0.02% paja	3,87 5	45.7	2	
			0.02% carrizo				

**Anexo 5. Resistencia a compresión de los mejores resultados a los 7, 14 y 28 días**

Dosificación final de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 10x20 cm)						
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga aplicada a 7 días (KN)	
1	0,00	0	0	4,149	109,55	

2			0	4,168	107,50	
1	0,02	2cm	Paja	4,028	99,80	
2			Paja	4,027	99,10	
1	0,02	2cm	Carrizo	4,021	95,60	
2			Carrizo	4,028	95,00	

1	0,025	2cm	0.015% paja	4,001	93,10	
			0.010% carrizo			
2	0,025	2cm	0.015% paja	4,002	92,00	
			0.010% carrizo			

Dosificación final de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 10x20 cm)

Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga aplicada a 14 días (KN)	
1	0,00	0	0	4,003	154,10	
2			0	4	153,25	
1	0,02	2cm	Paja	3,994	121,81	
2			Paja	3,986	123,10	

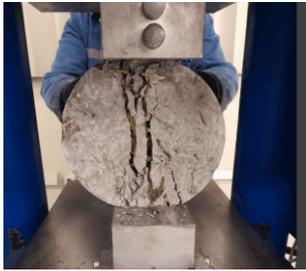
1	0,02	2cm	Carrizo	3,977	107,14	
2			Carrizo	3,968	107,85	
1	0,025	2cm	0.015% paja	3,947	97,51	
			0.010% carrizo			
2		2cm	0.015% paja	3,956	98,56	
			0.010% carrizo			

Dosificación final de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 10x20 cm)

Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro	Carga aplicada a 28 días (KN)	
1	0,00	0	0	4	168,52	
2			0	4,002	167,43	
1	0,02	2cm	Paja	3,975	134,1	
2			Paja	3,986	127,3	

1	0,02	2cm	Carrizo	3,98	111,52	
2			Carrizo	3,969	115,45	
1	0,025	2cm	0.015% paja	3,942	109,20	
			0.010% carrizo			
2		2cm	0.015% paja	3,949	106,90	
			0.010% carrizo			

**Anexo 6. Carga aplicada a tracción indirecta de cilindros de 15x30 cm a los 28 días**

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo (cilindro de 15x30 cm) ensayo a tracción Indirecta						
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de cilindro (kg)	Carga aplicada a 28 días (KN)	
1	0,00	0	0	20,1	151.15	
2			0	20,12	149.90	
1	0,02	2cm	Paja	20,06	87,69	
2			Paja	20,065	86.19	

1	0,02	2cm	Carrizo	20,054	110.15	
2			Carrizo	20,056	111.50	
1	0,025	2cm	0.015 paja	20,003	99.02	
			0.010carrizo			
2		2cm	0.015 paja	20,001	98,80	
			0.010 carrizo			

### Anexo 7. Carga aplicada a flexión de vigas de 15x15x60 cm a los 28 días

Combinación de fibras de paja de paramo y carrizo (viga de 15x15x60cm) ensayo a Flexión						
Muestra	% Fibra	Longitud	Combinación de fibras	Peso de viga (kg)	Carga aplicada a 28 días (KN)	
1	0,00	0	0	29,69	22.39	
2			0	29,67	22.55	
1	0,02	2cm	Paja	29,52	11,803	
2			Paja	29,525	12,889	

1	0,02	2cm	Carrizo	29,51	15.786	
2			Carrizo	29,5	15,713	
1	0,025	2cm	0.015 paja	29,02	14.193	
			0.010 carrizo			
2		2cm	0.015 paja	29,0,6	14,12	
			0.010 carrizo			