



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color.**

**Arq. Jenny Angélica Coral Patiño**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes, Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Colombia

2019

# **Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color.**

**Arq. Jenny Angélica Coral Patiño**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Construcción**

Directora:  
Arq. MSc. Martha Luz Salcedo Barrera

Línea de Investigación:  
Concreto

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Artes, Maestría en Construcción  
Bogotá D.C., Colombia

2019

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

El proyecto de grado denominado **COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO CON CASCARILLA DE CAFÉ Y POSIBILIDADES ANTE TEXTURA Y COLOR**” presentado por la Arquitecta Jenny Angélica Coral Patiño para optar por el Título de Magíster en Construcción otorgado por la universidad Nacional de Colombia, cumple con los requisitos establecidos y recibe nota aprobatoria.

---

Arq. MSc. Martha Luz Salcedo Barrera  
Directora de Proyecto

---

Jurado 1

---

Jurado 2

---

Jurado 3

---

Director de Maestría en Construcción

Bogotá D.C., Febrero 2019



*A mamá.*

## Agradecimientos

No somos nadie sin creer, creer en eso que nos guíe, nos cuide, nos vigile, quiera lo mejor para nosotros, y creo en un Dios que todo lo puede a quien agradezco mi vida.

Es importante ver como el sacrificio de quienes velan por nosotros es hoy en día el resultado de este trabajo, de este largo y arduo camino, no siempre plasmado en letras, números y deberes. Gracias a mis padres, mi gemela, mis abuelitos quienes han hecho de mi quien soy hoy en día, quienes inspiran en mi vida, a quienes guardo el más grande respeto y agradecimiento.

Mi universidad, siempre fue un sueño ser parte de esta alma máter, y agradezco por el profesional y persona que cultivo en mí, un eterno orgullo.

*“Uno recuerda con aprecio a sus maestros brillantes, pero con gratitud a los que tocaron nuestros sentimientos”* Carl Gustar Jung. A mi directora, por su tiempo, por su guía, por sus inestimables aportaciones, a su calidad humana, a su calidez como persona, a sus conocimientos, a su ejemplo, a su trabajo.

Gracias a cada amigo, a cada persona, que presente o en la distancia, motivo, participó, ayudó al desarrollo de este trabajo investigativo, sobre todo a quienes creyeron en que esto se podía lograr.

A Nicolás, porque con él los pasos siempre son hacia adelante.

Gracias.

*“El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos”.*

*Antonio Gaudí*

# Contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>XII</b>
<b>Listado de Ilustraciones .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de Graficas .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Capítulo: Lineamiento.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Introducción .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>24</b>
1.3.1. Objetivo general .....	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	24
<b>1.4. Justificación .....</b>	<b>25</b>
<b>2. Capítulo: Marco teórico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1. Impacto ambiental por extracción de material de arrastre.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2. Antecedentes teóricos .....</b>	<b>31</b>
2.2.1. Antecedentes internacionales.....	32
2.2.2. Antecedentes nacionales .....	37
<b>2.3. Bases teóricas .....</b>	<b>43</b>
2.3.1. Concreto.....	43
2.3.2. Concreto fresco .....	44
2.3.3. Concreto endurecido .....	44
<b>2.4. Componentes del concreto .....</b>	<b>44</b>
2.4.1. Cemento.....	44
2.4.2. Agua.....	45
2.4.3. Agregados.....	46
<b>2.5. Normativas para ensayos .....</b>	<b>46</b>
<b>2.6. Fibras en el concreto .....</b>	<b>47</b>
2.6.1. Clasificación de fibras.....	47
<b>2.7. Concreto reforzado con fibras vegetales .....</b>	<b>48</b>
2.7.1. Fibras vegetales .....	49
2.7.2. Características mecánicas del concreto con fibras .....	49
2.7.3. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras vegetales .....	50
2.7.4. Normativa de concreto con agregados vegetales .....	51
<b>2.8. Aplicaciones del concreto reforzado con fibras .....</b>	<b>51</b>
2.8.1. Túneles .....	52
2.8.2. Pavimentos .....	52
2.8.3. Otros usos.....	52
<b>2.9. Concreto arquitectónico .....</b>	<b>53</b>

2.9.1.	Prefabricados .....	53
<b>2.10.</b>	<b>Diseño Urbano.....</b>	<b>56</b>
2.10.1.	Espacio Público.....	56
2.10.2.	Pisos .....	56
2.10.3.	Mobiliario Urbano .....	57
2.10.4.	Fachadas y elementos de concreto a la vista .....	58
2.10.5.	Estampados .....	58
<b>3.</b>	<b>Capítulo: cascarilla de café como material alternativo .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1.</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>61</b>
3.1.1.	Origen de la cascarilla de café utilizada en esta investigación.....	61
3.1.2.	Proceso obtención de la cascarilla .....	61
<b>3.2.</b>	<b>Características fisicoquímicas de la cascarilla de café.....</b>	<b>64</b>
3.2.1.	Características físicas .....	64
3.2.2.	Composición química .....	65
<b>3.3.</b>	<b>Mineralización de la fibra (protección de la cascarilla de café) .....</b>	<b>66</b>
3.3.1.	Mineralización con aceite de linaza (Alvarado, 2002) .....	67
3.3.2.	Mineralización con Hidróxido de calcio (básica): .....	67
3.3.3.	Mineralización con Cal Agrícola .....	67
<b>3.4.</b>	<b>Aplicación actual de la cascarilla de café.....</b>	<b>68</b>
<b>4.</b>	<b>Capítulo: Materiales y método .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.</b>	<b>Metodología de la investigación.....</b>	<b>70</b>
4.1.1.	Línea investigativa.....	70
4.1.2.	Materiales.....	73
4.1.3.	Población y muestras .....	73
<b>4.2.</b>	<b>Caracterización de los áridos.....</b>	<b>75</b>
4.2.1.	Análisis Granulométrico.....	77
<b>4.3.</b>	<b>Diseño de mezcla .....</b>	<b>81</b>
4.3.1.	Selección del Asentamiento .....	81
4.3.2.	Selección del tamaño máximo del agregado .....	81
4.3.3.	Estimación del contenido de aire .....	82
4.3.4.	Requerimiento de agua de mezclado .....	82
4.3.5.	Resistencia requerida de diseño .....	82
4.3.6.	Relación agua-cemento.....	83
4.3.7.	Definición de datos.....	83
<b>4.4.</b>	<b>Variables y porcentajes de reemplazo del diseño de mezcla.....</b>	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>Capítulo: Ensayos y resultados.....</b>	<b>85</b>
<b>5.1.</b>	<b>Elaboración de placas con estampado, textura y pigmentación. ....</b>	<b>85</b>
<b>5.2.</b>	<b>Ensayo de Asentamiento .....</b>	<b>93</b>
5.2.1.	Características de la mezcla en estado fresco.....	93
<b>5.3.</b>	<b>Ensayo de compresión .....</b>	<b>95</b>
5.3.1.	Resultados .....	97
<b>5.4.</b>	<b>Ensayo de Sortividad.....</b>	<b>102</b>
<b>5.5.</b>	<b>Ensayo módulo de rotura .....</b>	<b>114</b>
5.5.1.	Resultados .....	116
<b>5.7.</b>	<b>Elección de muestra a desarrollar en prototipo de formaleta.....</b>	<b>121</b>

---

5.7.1.	Selección de mezcla comportamiento mecánico .....	121
5.7.2.	Selección de mezcla comportamiento físico .....	122
<b>5.8.</b>	<b>Desarrollo de prototipos .....</b>	<b>123</b>
<b>5.9.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>124</b>
5.9.1.	Prototipo para propiedades físicas .....	124
5.9.2.	Prototipo para propiedades mecánicas .....	124
<b>6.</b>	<b>Capítulo: Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>125</b>
6.1.	Conclusiones.....	125
6.2.	Recomendaciones.....	127
<b>7.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>128</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>134</b>
8.1.	Ficha técnica ACEITE DE LINAZA REFINADO .....	134
8.2.	Ficha técnica CAL AGRÍCOLA .....	135
8.3.	Ficha técnica HIDRÓXIDO DE CALCIO .....	136
8.4.	Entrevista.....	137

## Resumen

Evolucionar, transformar y potencializar un material, basados en los tres ejes de: sostenibilidad, medio ambiente y socio-económico. Se ha convertido en los últimos años en un desafío para el sector de la construcción, y sin duda alguna, el mejor camino para entender el daño generado con el desmedido e inconsciente uso de los recursos naturales. El uso de residuos orgánicos renovables, es un tema que se ha ido imponiendo en la industria de la construcción a nivel global, aprovechando, los residuos o componentes de las materias primas que tienen mayor productividad.

En Colombia, la cascarilla de café, es uno de los residuos orgánicos que deja la gran industria cafetera. Esta fibra vegetal, se encuentra potencializada por su composición química, en este caso, el Silicio, componente mineral que aporta la resistencia en el concreto, como lo hace el cemento.

En esta investigación, se presenta el diseño de mezcla de concreto, a la cual, se realizan las respectivas pruebas para identificar las características físicas potenciales, aplicables en la arquitectura. El resultado de la mezcla, se implementará en prototipos de encofrados y estampados, que permitan el análisis del material, ante su manejabilidad y adherencia al prototipo arquitectónico al que se exponga, esto con el fin de lograr trabajar al tiempo: resistencia, exposición al medio exterior, sostenibilidad y diseño. A su vez se aplican pigmentos para valorar adherencia y comportamiento con el color.

*Palabras clave: concreto, sostenibilidad, fibra vegetal, café, pigmentos, texturas.*

## Abstract

Evolve, transform and strengthen a material, based on the three axes of: sustainability, environment and socio-economic. In recent years, it has become a challenge for the construction sector, and without a doubt, the best way to understand the damage caused by the excessive and unconscious use of natural resources. The use of renewable organic waste, is an issue that has been imposed in the construction industry globally, taking advantage of the chinks or components of the raw materials that have higher productivity.

In Colombia, the coffee husk is one of the organic residues left by the large coffee industry. This vegetable fiber is potentiated by its chemical composition, in this case, silicon, a mineral component that provides strength in concrete, as cement does.

In this research, the concrete mix design is presented, to which the respective tests are carried out to identify the potential physical characteristics, applicable in the architecture. The result of the mixture, will be implemented in prototypes of formwork and prints, which allow the analysis of the material, before its manageability and adherence to the architectural prototype to which it is exposed, this in order to achieve work at the time: resistance, exposure to the environment exterior, sustainability and design. In turn, pigments are applied to assess adherence and behavior with color.

*Key words: concrete, sustainability, vegetable fiber, coffee, pigments, textures.*

## Listado de Ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Títulos mineros inscritos en el Registro Minero (Ministerio de Minas, 2016) .30	30
<b>Ilustración 2:</b> Proporción de los tipos de materiales explotados en la pequeña minería.(Ortiz, 2017) .....	30
<b>Ilustración 3:</b> Procedimiento Coffee Block(Cantu et al., 2014) .....	33
<b>Ilustración 4:</b> Línea del tiempo - tesis con uso de cascarilla de café (autoría propia).....	42
<b>Ilustración 5:</b> Curva característica Carga VS. Deflexión en concretos reforzados con fibras (Carvajal, 2015). .....	51
<b>Ilustración 6:</b> La transformación del fruto del cafeto en el proceso de beneficiado .....	62
<b>Ilustración 7:</b> Pelado de la cubierta del grano (cascarilla). (Autoría propia).....	63
<b>Ilustración 8:</b> <i>Obtención de la cascarilla</i> .....	64
<b>Ilustración 9:</b> Partes de un grano de café (Coffea, 2005).....	64
<b>Ilustración 10:</b> Cadena de celulosa cristalina 5-10,000 unidades (unión de varias unidades de Glucosa)(Coffea, 2005) .....	66
<b>Ilustración 11:</b> Esquema de la investigación (autoría propia) .....	72
<b>Ilustración 12:</b> Mineralización de la cascarilla (autoría propia) .....	87
<b>Ilustración 13:</b> Llenado de formaletas (autoría propia) .....	87
<b>Ilustración 14:</b> Colocación de placas a la intemperie, parte trasera patio SINDU (autoría propia) .....	88
<b>Ilustración 15:</b> Ensayo de asentamiento (autoría propia) .....	94
<b>Ilustración 16:</b> Mezcla en patio (autoría propia) .....	95
<b>Ilustración 17:</b> Proceso de fundición y curado de cilindros (autoría propia).....	96
<b>Ilustración 18:</b> Proceso de ensayo sortividad (autoría propia).....	102
<b>Ilustración 19:</b> Procedimiento flexión a vigas (autoría propia) .....	114

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> (“La Sostenibilidad, un desafío desde la semilla a la taza,” 2012) .....	21
<b>Tabla 2:</b> Pruebas #1: Base de ladrillos con cascarilla de café en polvo (Cantu et al., 2014) 33	33
<b>Tabla 3</b> <i>Pruebas#1: Base de ladrillos con cascarilla de café en polvo (Cantu et al., 2014)</i> ...34	34
<b>Tabla 4</b> <i>Pruebas #1: base de ladrillos con cascarilla de café entera (Cantu et al., 2014)</i> .....	34
<b>Tabla 5:</b> <i>Resultados de la prueba de absorción (Cantu et al., 2014)</i> .....	34
<b>Tabla 6:</b> <i>Presión máxima sostenida por cada ladrillo en la prueba de compresión (Cantu et al., 2014)</i> .....	34
<b>Tabla 7:</b> <i>Análisis granulométricos de los materiales (Roque &amp; Medrano, 2012)</i> .....	36
<b>Tabla 8:</b> <i>Muestra gráficamente el proceso de beneficio para el grano de café y sus materiales de desperdicio.(García; &amp; Olaya;, 2011)</i> .....	37
<b>Tabla 9:</b> <i>Características de los cilindros(RIOS;, AGUIRRE;, &amp; MUNERA;, 2015)</i> .....	39
<b>Tabla 10:</b> <i>Tipos de cemento Portland ASTM C -150 (ASTM INTERNATIONAL, n.d.)</i> .....	45
<b>Tabla 11:</b> Normas técnicas para ensayos de laboratorio (Edwin, 2017) .....	46
<b>Tabla 12:</b> Clasificación de las fibras (Imcyc, 2007) .....	47
<b>Tabla 13:</b> Origen de las fibras (VERHOOKS, n.d.).....	49
<b>Tabla 14:</b> Uso para el concreto arquitectónico (Argos, 2018) .....	53
<b>Tabla 15:</b> Clasificación de los elementos prefabricados. (Novas, 2010).....	54
<b>Tabla 16:</b> Tipos de acabados para el concreto arquitectónico (Cementos Argos S.A, 2010)59	59
<b>Tabla 17:</b> Datos de la región de procedencia de la cascarilla de café (Café de Colombia, 2010) .....	61
<b>Tabla 18:</b> Caracterización cascarilla de café (autoría propia).....	65
<b>Tabla 19:</b> Composición química de la cascarilla de café. (García; & Olaya; 2011) .....	65
<b>Tabla 20:</b> Esquema experimental (autoría propia).....	70
<b>Tabla 21:</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (Argos, 2013) .....	73
<b>Tabla 22:</b> Caracterización agregado grueso (autoría propia). .....	76
<b>Tabla 23:</b> Caracterización agregado grueso pesos (autoría propia). .....	76
<b>Tabla 24:</b> Caracterización agregado fino (autoría propia).....	77

<b>Tabla 25:</b> Caracterización agregado fino peso (autoría propia).....	77
<b>Tabla 26:</b> <i>Granulometría agregado fino (autoría propia)</i> .....	78
<b>Tabla 27:</b> <i>Granulometría agregado grueso (autoría propia)</i> .....	79
<b>Tabla 28:</b> Granulometría Cascarilla de café (autoriza propia) .....	80
<b>Tabla 29:</b> Selección del asentamiento (Guzmán, 2001). .....	81
<b>Tabla 30:</b> Selección del tamaño máximo del agregado(Guzmán, 2001).....	81
<b>Tabla 31:</b> Estimación del contenido de aire (Guzmán, 2001). .....	82
<b>Tabla 32:</b> Requerimiento de agua de mezclado en concreto con aire incluido(Guzmán, 2001). .....	82
<b>Tabla 33:</b> Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar .....	82
<b>Tabla 34:</b> <i>Dependencia de la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto (adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3)</i> .....	83
<b>Tabla 35:</b> <i>Datos para diseño de mezcla (autoría propia)</i> .....	83
<b>Tabla 36:</b> <i>Peso y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto (autoría propia)</i> .....	84
<b>Tabla 37:</b> Cantidades de diseño de mezcla (autoría propia).....	84
<b>Tabla 38:</b> <i>Valores de los porcentajes de reemplazo (autoría propia)</i> .....	84
<b>Tabla 39:</b> <i>Mineralización reemplazo 1.5% y acabados (autoría propia)</i> .....	86
<b>Tabla 40:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5% (autoría propia)</i> .....	86
<b>Tabla 41:</b> <i>Resultado placas mezcla patrón (autoría propia)</i> . .....	89
<b>Tabla 42:</b> Resultado placas mezcla tratamiento con aceite de linaza (autoría propia).....	90
<b>Tabla 43:</b> Resultado placas mezcla con hidróxido de calcio (autoría propia).....	91
<b>Tabla 44:</b> Resultado placas mezcla patrón (autoría propia). .....	92
<b>Tabla 45:</b> <i>Resultados asentamientos de las 3 variables y %reemplazos (autoría propia)</i> .....	93
<b>Tabla 46:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5 (autoría propia)</i> .....	96
<b>Tabla 47:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.0% (autoría propia)</i> .....	96
<b>Tabla 48:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 0.5% (autoría propia)</i> .....	97
<b>Tabla 49:</b> <i>Resultados mezcla patrón a los 28 días (autoría propia)</i> .....	97
<b>Tabla 50:</b> Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia).....	98
<b>Tabla 51:</b> Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia).....	99
<b>Tabla 52:</b> Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia)....	100
<b>Tabla 53:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-05 (autoría propia).....	103
<b>Tabla 54:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-10 (autoría propia).....	104

---

<b>Tabla 55:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-15 (autoría propia).....	104
<b>Tabla 56:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-05 (autoría propia).....	105
<b>Tabla 57:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-10 (autoría propia).....	106
<b>Tabla 58:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-15 (autoría propia).....	107
<b>Tabla 59:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-05 (autoría propia).....	108
<b>Tabla 60:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-10 (autoría propia).....	109
<b>Tabla 61:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-15 (autoría propia).....	110
<b>Tabla 62:</b> Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CP (autoría propia).....	111
<b>Tabla 63:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5 (autoría propia)</i> .....	115
<b>Tabla 64:</b> <i>Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.0% (autoría propia)</i> .....	115
<b>Tabla 65:</b> Proporciones de mezcla Reemplazo al 0.5% (autoría propia).....	115
<b>Tabla 66:</b> Resultados ensayo flexión a vigas CP (autoría propia).....	116
<b>Tabla 67:</b> Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento aceite de linaza (autoría propia). .....	117
<b>Tabla 68:</b> Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento hidróxido de calcio (autoría propia). .....	118
<b>Tabla 69:</b> Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento cal agrícola (autoría propia).....	119
<b>Tabla 70:</b> Promedio de mejores características mecánicas (autoría propia).....	121
<b>Tabla 71:</b> Promedio de mejores características físicas (autoría propia).....	122
<b>Tabla 72:</b> Mezclas prototipo final (autoría propia).....	123

## Lista de Graficas

<b>Gráfica 1:</b> Curva granulométrica agregado fino (autoría propia).....	78
<b>Gráfica 2:</b> Curva granulométrica agregado grueso (autoría propia) .....	79
<b>Gráfica 3:</b> Curva granulométrica fibra vegetal Cascarilla de café (autoría propia).....	80
<b>Gráfica 4:</b> Resultados asentamientos de las 3 variables y %reemplazos (autoría propia)....	94
<b>Gráfica 5:</b> Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia). .....	98
<b>Gráfica 6:</b> Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia). .....	99
<b>Gráfica 7:</b> Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia). .....	100
<b>Gráfica 8:</b> Resultados promedio mezclas (autoría propia). .....	101
<b>Gráfica 9:</b> Sortividad inicial CFL-05 (autoría propia). .....	103
<b>Gráfica 10:</b> Sortividad inicial CFL-10 (autoría propia).....	104
<b>Gráfica 11:</b> Sortividad inicial CFL-15 (autoría propia). .....	105
<b>Gráfica 12:</b> Sortividad inicial CFC-05 (autoría propia).....	106
<b>Gráfica 13:</b> Sortividad inicial CFC-10 (autoría propia).....	107
<b>Gráfica 14:</b> Sortividad inicial CFC-15 (autoría propia).....	108
<b>Gráfica 15:</b> Sortividad inicial CFH-05 (autoría propia).....	109
<b>Gráfica 16:</b> Sortividad inicial CFH-10 (autoría propia).....	110
<b>Gráfica 17:</b> Sortividad inicial CFH-15 (autoría propia). .....	111
<b>Gráfica 18:</b> Sortividad inicial CP (autoría propia). .....	112
<b>Gráfica 19:</b> Sortividad Inicial promedio (autoría propia). .....	113
<b>Gráfica 20:</b> Sortividad promedio entre los tres tratamientos (autoría propia).....	113
<b>Gráfica 21:</b> Promedio fuerza aplicada a CP (programa digital del ensayo). .....	116
<b>Gráfica 22:</b> Promedio fuerza aplicada (programa digital del ensayo). .....	117
<b>Gráfica 23:</b> Promedio a cada porcentaje (autoría propia).....	117
<b>Gráfica 24:</b> Promedio a cada porcentaje (autoría propia).....	117
<b>Gráfica 25:</b> Promedio a cada porcentaje (autoría propia).....	118
<b>Gráfica 26:</b> Promedio fuerza aplicada (programa digital del ensayo). .....	118
<b>Gráfica 27:</b> Promedio a cada porcentaje (autoría propia).....	119

**Gráfica 28:** Promedio resultado de los porcentajes en las tres variables y testigo (autoría propia) .....120

# 1. Capítulo: Lineamientos

## 1.1. Introducción

Encontrar un punto de equilibrio entre la sostenibilidad en la arquitectura y el satisfacer nuestras necesidades, es un reto a asumir. No podemos recuperar muchos de los recursos naturales que la industria de la construcción ha llevado consigo, pero así como la tecnología ha evolucionado para muchos campos del consumismo, también ha evolucionado para permitirnos encontrar soluciones con el fin de no prolongar los daños ya efectuados.

En la construcción, estamos llamados a aportar iniciativas para el desarrollo sostenible, a nuestros días, ya podemos predecir con qué recursos naturales contará la siguiente generación a corto plazo; según Fernández y Rodríguez (2010) como lo reafirma (Bedoya, 2011), "sí los actuales patrones no cambian, la expansión de la construcción destruirá (...), hábitats naturales y vida salvaje en más de un 70% de la superficie de la tierra para 2032". Teniendo a la mano y a disponibilidad todos estos balances, conocimientos, predicciones científicas y variedad de análisis medio ambientales, es casi un deber del constructor y proyectista motivar e incentivar el desarrollo de nuevas técnicas y materiales que le den prioridad a la conservación y cuidado del planeta, siendo que este campo es uno de los directamente responsables de la afectación ambiental, debemos "... superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas...". (Manzini & Bigues, 2000)

Los residuos orgánicos son aún, en muchas empresas y lugares de desarrollo, un problema ambiental y económico, puesto que a pesar de que los subproductos que se generan se tratan de aprovechar al máximo, es tan alta la cantidad que las empresas recurren a destinar un fondo aparte para poder desarrollar nuevos equipos y técnicas para darle un destino final a estos residuos. Entre estos están:

Vertederos

Incineración

Compostaje y digestión anaerobia

Tratamiento mecánico biológico

Pirolisis y gasificación

(“Manejo de Desechos Agroindustriales,” 2015)

Es así, como para las industrias es una pérdida no solo económica, tener que asumir costos para el proceso final de los subproductos, sino también una pérdida en los tiempos destinados a este tratamiento.

Somos un país rico en variedad de cultivos, dado a su localización geográfica, tenemos todos los pisos térmicos que nos permiten aprovechar las propiedades de la tierra, generando un alto desarrollo en la agroindustria. Algunas empresas logran hacer un alto y buen uso de los subproductos que se les generan, usando estos materiales como biocombustibles, abonos para el cultivo de sus tierras, alimentos para sus animales, entre otros.

La cascarilla de café es el residuo vegetal para la propuesta de esta investigación, es el agregado adicional que se estudió en el diseño de la mezcla con el concreto, siendo que este residuo hace parte de la industria del café, la más sobresaliente del país ocupando el tercer puesto como mayor productor del mundo y el primero en café arábico suave lavado (Sierra, 2014), y partiendo de esta alta producción, la cascarilla de café o cisco, es el residuo que posee además propiedades óptimas que la convierten en un agregado liviano, con un porcentaje de silicio del 15% en su composición química, así considerados para poder realizar este planteamiento investigativo (Garcia; & Olaya;, 2011).

Sin ser ajenos ante esta situación, se proyecta una investigación que irá ligada al uso de residuos vegetales y al diseño del concreto arquitectónico, esto con el fin de enfatizar que crear propuestas ambientales no limita las características de un material, en este caso el concreto, y que al contrario, potencializa sus propiedades y brinda al mercado mayores opciones de uso e implementación.

Algunas industrias hacen uso de estos residuos, como abonos para uso en sus mismas tierras, como biocombustibles para sus fincas o maquinas procesadoras, o como consumo animal, si esto pasase en la mayoría de la industria y con la totalidad de la materia prima después de su procesamiento, aparte de traer beneficios ambientales también traería beneficios económicos.

En el proceso de industrialización del café, solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el restante, como la pulpa, el cisco, el tallo, la borra quedan como residuo de la materia prima representando el 95%. Almacafé, en uno de sus informes de sostenibilidad del año 2012 nos describe la cantidad de toneladas de residuos que genera la industria del café, y el Cisco, que es la cascarilla del café, está entre los tipos de residuos sólidos aprovechables, catalogado así por la misma industria, quienes crearon un manejo de residuos dándoles uso en su misma planta de producción como generadores de energía. (“La Sostenibilidad, un desafío desde la semilla a la taza,” 2012).

**Tabla 1:** (“La Sostenibilidad, un desafío desde la semilla a la taza,” 2012)

ALMACAFÉ: ACCIONES IMPLEMENTADAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS		
Tipo de residuo	Ton.	Descripción
<b>Residuos sólidos</b>		
Aprovechables	10.876	Cisco, papel, cartón, borra, plásticos, madera, empaques, entre otros
No aprovechables	70	Orgánicos e inertes
<b>Total</b>	<b>10.947</b>	
<b>Residuos peligrosos</b>		
Gestionados	2	Tratados o dispuestos en rellenos de seguridad
Almacenados	3	Se conservan para su posterior tratamiento o disposición final
<b>Total</b>	<b>5</b>	

Sin embargo, en una tesis de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, sobre la combustión de Pélet de Cisco de café, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales implica grandes retos y altas inversiones en transporte cuando su disposición final no es “in situ”, esto, sumado a que estos materiales poseen bajos poderes caloríficos en comparación con otros combustibles de origen fósil y no se disponen de tecnologías que permitan garantizar una combustión apropiada, lo cual, conlleva a que las plantas utilicen combustibles fósiles que garanticen la energía requerida para sus procesos, originando un consumo de combustibles adicional y elevando los costos de producción (Manrique Waldo, 2018).

Lograr diseñar una mezcla idónea de concreto con la cascarilla de café en construcción, implica el desarrollar planes de manejo ambiental para implementarlos en el concreto arquitectónico, aprovechando la gran producción agroindustrial que se da en este País. “Las cifras del Ministerio de Vivienda dan cuenta de un crecimiento de 10,2% en el PIB de construcción durante el segundo trimestre del 2014 en comparación con el mismo periodo del año pasado. Las obras civiles son las que más han tenido que ver en el aumento de ese PIB, pues crecieron 17,6% seguidas por el sector de edificaciones con un 14%” (Medina, 2014).

A partir de estos elementos, se considera que la propuesta del diseño de mezcla de concreto con residuos vegetales cumplirá dos aportes muy positivos al campo de la construcción, uno de ellos es ser un material que retribuya al medio ambiente generando una nueva visión de optimización en nuestro país, y segundo, es considerar que este material cuenta con las características idóneas para ser trabajado como concreto arquitectónico, lo que permite al diseñador y al constructor idear, proyectar y trabajar con la misma o mejor facilidad que con un concreto convencional. Se podría hablar del desarrollo de un “concreto de alto desempeño” (Salcedo Barrera, 2006), en donde “cualquier concreto que satisfaga criterios propuestos para sobrepasar las limitaciones de un concreto convencional puede ser llamado concreto de alto desempeño” (FHWA, 1994).

La mezcla obtenida del concreto con agregado de cascarilla de café se dispondrá en el trabajo de acabados; pigmentación, estampado y encofrado. Lo positivo del uso de estas técnicas es la posibilidad de crear variabilidad y seguridad, dotar al material de características que se puedan determinar desde el proceso de su producción hasta el momento de su implementación en armonía con la naturaleza y aprovechando al máximo los residuos vegetales, en este caso los de la agroindustria cafetera.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Se sabe que la industria de la construcción es uno de los mayores generadores de contaminación y consumidor de recursos naturales no renovables, tal como lo cita (Cabello, 2008) tomado de (Anink, Boonstra, & Mank, 1996), en términos estadísticos, se puede decir que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de residuos generados. Si bien es cierto que el procesado de materias primas y la fabricación de los

materiales generan un alto coste energético y medioambiental, no es menos cierto que la experiencia ha puesto de relieve que no resulta fácil cambiar el actual sistema de construcción y la utilización irracional de los recursos naturales, donde las prioridades de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales, brillan por su ausencia frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales. Por ello, se hace necesario reconsiderar esta preocupante situación de crisis ambiental, buscando la utilización racional de materiales que cumplan sus funciones sin menoscabo del medio ambiente (Cabello, 2008).

Resulta al tiempo contradictorio, que el campo de la construcción tenga como fin buscar el confort humano satisfaciendo sus necesidades tanto habitables como de vías de comunicación, y que no se tenga como prioridad cuidar o usar de manera más racional los recursos naturales siendo estos los que proveen la vida y los que permiten llevar a cabo esas construcciones que ayudan a mitigar las necesidades del ser humano.

La visión de la generación de residuos sólidos derivada del consumismo actual, ha sido entendida como una problemática ambiental además de ser un factor influyente y determinante en la salud pública; la creación, además de la adaptación de estrategias ya existentes para el manejo de residuos sólidos, se convierte en la alternativa de solución a dicho problema dado que ataca todas las consecuencias devastadoras del mal manejo de los residuos sólidos y además se convierte en una posibilidad de negocio, al comercializar los subproductos derivados de estos procesos (Agudelo, 2012).

Tenemos gran variedad de residuos, orgánicos e inorgánicos, y muchos de estos, al verse como desecho “inútil” son quemados, vertidos en fuentes fluviales, o en vertederos de basura, generando acumulaciones de agentes contaminantes. No obstante, “ampliando ya la visión ecológica del siglo XXI, algunas empresas o fabricas hacen uso de estos residuos como generadores de energía” (Manejo de Desechos Agroindustriales,2015).

Sin embargo, la visión ecológica en la que la construcción debe estar sumergida, no es del todo implementada, para ello debe innovarse en materiales que ofrezcan las mismas o mejores características para poder hacer uso de ellos en forma confiada y masiva, ya que un alto porcentaje de la industria de la construcción es ajena al concepto ‘sostenibilidad ambiental’.

En Colombia existen empresas que están intentando implementar metodologías y técnicas para la reutilización de residuos orgánicos. La adecuada disposición final de residuos agroindustriales es apremiante debido a que se producen en gran cantidad pero la mayoría son llevados al relleno sanitario sin considerar que existen otras posibilidades de aplicación y que pueden generar grandes valores económicos. Los gastos de la disposición de los residuos y el impacto ambiental, pueden reducirse si se logra emplear técnicas de valorización, esto quiere decir que si se logran tener adecuados tratamientos las empresas podrían multiplicar el valor de los subproductos (Yepes, Naranjo, & Sánchez, 2008).

Con estos puntos planteados es importante preguntarse: ¿Cómo hacer del concreto un material, a partir de residuos orgánicos vegetales, que genere una progresiva visión sostenible en la construcción y que sea estéticamente un potencial en el diseño? El sustituir parte de los agregados de un material convencional a uno que aporte al medio ambiente y lograr implementarlo en la construcción como material óptimo para quien lo implemente, es obtener un material innovador que aporta no solo como idea si no como parte de nuevas prácticas constructivas sustentables.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar las propiedades y comportamientos físicos del concreto con agregados orgánicos como la cascarilla de café, uno de los residuos orgánicos que deja la gran industria cafetera en Colombia, y establecer las posibilidades ante el uso de textura y color.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las investigaciones realizadas acerca del concreto aligerado con cascarilla de café, estableciendo sus propiedades generales.
- Caracterizar el material orgánico (Cascarilla de café) que va a ser sustituido por porcentajes determinados, del agregado grueso del concreto.

- Establecer un diseño de mezcla con base en las investigaciones realizadas y comprobar sus propiedades físicas.
- Determinar las alternativas de textura a través de prototipos de formaletas que puedan implementarse en ese tipo de concreto.
- Realizar valoraciones acerca de las variaciones del comportamiento del concreto expuesto al exterior con el uso de pigmentos.

## **1.4. Justificación**

La industria de la construcción es uno de los principales actores responsables en el cambio y aumento de niveles de contaminación ambiental, es una industria que necesita para su desarrollo hacer uso de recursos naturales no renovables dejando a su paso acumulación de desechos, escombros de obra, una mezcla de agentes contaminantes que degradan de manera progresiva el medio natural; pero las industrias como la agronomía, son otro gran factor de contaminación directa a este medio, se hace uso de la materia prima 'útil' y los residuos, son en un alto porcentaje quemados, desechados en ríos, o retirados a espacios como vertederos de basuras, volviéndolos unos partícipes más de la contaminación. Hay que destacar que "el debate sobre la sostenibilidad no se produce en el campo específico de la edificación, sino en el de la economía y otras ciencias sociales. Su transposición a la edificación exige un entramado teórico capaz de trasladar demandas enunciadas en campos ajenos (...) hacia el campo de los conocimientos, habilidades y procesos que permiten desarrollar y enunciar un proyecto de edificación" (Monterotti, 2013).

La búsqueda de implementar normas y leyes para contrarrestar los abusos que se le hacen a los recursos, vienen desde la década de los 80, época en la que surge la preocupación por impacto que produce llevar a cabo la construcción de un edificio y sus materiales sobre el ambiente. Desde el año 2000, el número de métodos para la evaluación medioambiental se ha multiplicado considerablemente en el mundo, BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) fue el primer sistema (desarrollado en 1990), que ofreció un método de etiquetado de edificios aunque LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es el de mayor implantación en el mercado de grandes edificios (Macías & García Navarro, 2010).

En Colombia no existen como tal, leyes enfocadas exclusivamente al control de recursos de los que hace uso la industria de la construcción, existen algunas normativas y artículos que se derivan de un encabezado no específico en el tema, y existen también los denominados manuales, pero realmente no hay entidades que fundamenten la importancia de un control, una base de enumeradas restricciones en la fabricación de materiales y su impacto negativo al medio ambiente.

En el año 2016, se hizo público la nueva reglamentación de construcción sostenible en el país. “En Latinoamérica, Colombia es pionero en comprometerse con la transformación hacia el desarrollo sostenible. La norma, que es obligatoria a partir de junio de 2016, establece porcentajes de ahorro en agua y energía que permitan reducir los costos de los usuarios en pagos de servicios públicos” (Ministro de Vivienda, Luis Felipe Henao). El objetivo de esta reglamentación es lograr ahorros de hasta el 45% en el consumo de agua y energía mediante la incorporación de parámetros de sostenibilidad ambiental en el diseño y construcción de las nuevas edificaciones que se construyan en el país (MINVIVIENDA, 2015). Se consultó al Ingeniero Alejandro Vásquez, especialista en construcción sostenible de la universidad EAFIT, acerca de esta nueva norma y señala que: el mayor objetivo es el ahorro de recursos hídricos y energéticos al igual que reducir las emisiones de gases de efecto invernadero pero esta norma no trae apartes específicos sobre el uso de materiales, debido a que se centra en temas de eficiencia energética e hídrica, pero si habla de la necesidad de usar materiales de construcción de baja energía embebida (...)(ARGOS, 2015).

En este sentido se entiende la importancia, la vitalidad de impulsar e imponer el cambio desde la fabricación de los materiales que se utilizaran en obra, los elementos tenidos en cuenta para la expedición del nuevo reglamento fue entender que teniendo un sector que construye anualmente cerca de 30 millones de metros cuadrados en vivienda y edificaciones no residenciales, que articula a más de 28 sectores productivos de la economía y que emplea a más de 3,4 millones de personas, es necesario mantener un proceder reglamentario cauteloso para no poner en riesgo la promoción de proyectos constructivos ya que son los que soportan la economía (CAMACOL, 2015), así que el enfoque sostenible al que se hace referencia esta normativa está en un segundo plano y la economía se vería directamente afectada si se impone la idea de usar en menor medida los residuos naturales o proponer estudios para reemplazarlos.

Desde el aspecto ecológico, tiene una gran ventaja la industria agronómica por el basto grado de residuos orgánicos que genera en la producción. En tal sentido, se proyecta a provechar el denominado cisco, la cascarilla de café, con la finalidad de aprovechar este sobrante, siendo Colombia el segundo productor mundial de este fruto y por el potencial de este residuo como fibra vegetal, al presentar propiedades que la hacen óptima para ser utilizada como agregado liviano en el concreto. En Colombia ha tenido un único uso, servir de combustible para alimentar hornos. (Rathinavelu & Graziosi, 2005).

Es el concreto el material de mayor uso en la construcción, es el material que más se debe experimentar para proporcionar alternativas ecológicas y de uso. Para potencializar este material, no únicamente en su composición con los residuos orgánicos, sino que también se buscara alternativas en su estética, en la variabilidad de sus aplicaciones.

El aspecto estético de las obras cobra cada vez mayor relevancia, y los elementos de concreto arquitectónico –elaborados in situ o prefabricados- marcan una etapa importante en la evolución de la arquitectura contemporánea al brindar características de increíble versatilidad. Además del concreto, ningún material de construcción moderno puede asumir con tanta facilidad, las formas, colores y texturas (Pesquer, 2013). Se han realizado cantidad de investigaciones y avances tecnológicos, sin embargo, en esta aérea, la aplicación de concretos arquitectónicos es muy deficiente (dependiendo de la obra) en lo estético o lo mecánico, pero no se trabaja unificando estas dos características sabiendo que el concepto de concreto arquitectónico tiene como finalidad estas aportaciones como unidad.

En tal razón, se busca crear alternativas, ideas innovadoras, y el implementar un material ecológico donde el uso de estas técnicas favorezca el campo constructivo, el económico, variedad en el mercado y en el diseño, puesto que al conectar el éxito de las empresas con los avances de la sociedad, se abren muchas formas de atender a nuevas necesidades, ganar eficiencia, crear diferenciación y expandir mercados. (Porter & Kramer, 2011).

## 2. Capítulo: Marco teórico

La evaluación del impacto ambiental que genera la fabricación de materiales de construcción es bastante escasa, ante esa situación algunos países han creado mecanismos muy básicos que permitan dar algunas pautas para el uso adecuado de estos, pero encontrar específicamente los efectos secundarios que causa su producción, es muy complejo, imponiendo la idea de crear y modificar materiales con un completo estudio en el ámbito ecológico y constructivo. Se debe "... superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas..."(Manzini & Bigues, 2000).

Los responsables de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ofrecen varias razones para promocionar los productos naturales como lo son las fibras, subproductos de los residuos orgánicos. La producción implica una fuente alta de ingresos económicos para el campo de la agroindustria y este valor económico es más sobresaliente en países en desarrollo, donde puede alcanzar en algunos casos hasta la mitad de las exportaciones. En cuanto a las ventajas que producen para el medio ambiente y la salud, la utilización de forma sostenible de fibras obtenidas de residuos orgánicos proporcionan un recurso natural y renovable en tiempos cortos a diferencia de lo que es hacer uso de fibras sintéticas las cuales son obtenidas de sustancias derivadas del petróleo (Muerza, 2009).

El uso de fibras naturales de residuos orgánicos, es una ventaja muy alta para el campo de la construcción, es aprovechar las ventajas de la tecnología, los estudios que están a nuestro alcance y poder hacer nuevas propuestas en pro de un detenimiento del excesivo uso de recursos naturales.

## 2.1. Impacto ambiental por extracción de material de arrastre

La explotación minera en Colombia para la extracción del material de arrastre, grava y arena entre otros, es uno de los principales protagonistas en este flagelo del daño ambiental frente a las diferentes prácticas requeridas para tal fin. Son innumerables y prácticamente irreversibles, los daños a los que deben enfrentarse los recursos a falta de control y equilibrio tanto es su explotación como en el tiempo para su recuperación.

El impacto ambiental que genera la actividad minera es grande, la huella que deja en el ambiente incide en los recursos hídricos, geológicos, biológicos, atmosféricos y socio – económicos. Algunas de esas consecuencias son reversibles, pero otras, irremediablemente, no pueden evitarse. En el recurso hídrico, la minería a cielo abierto, por ejemplo, causa contaminación de los cuerpos de agua por residuos sólidos y vertimientos domésticos e industriales relacionados con la actividad minera., lo que aumenta el contenido de los sedimentos y se ocasiona desviación de los cauces de los ríos que generan inundaciones, transformación del paisaje y la pérdida de cultivos. En el campo geológico se producen cambios topográficos y geomorfológicos debido a la remoción de las capas superficiales del terreno (Redacción El Tiempo, 1995).

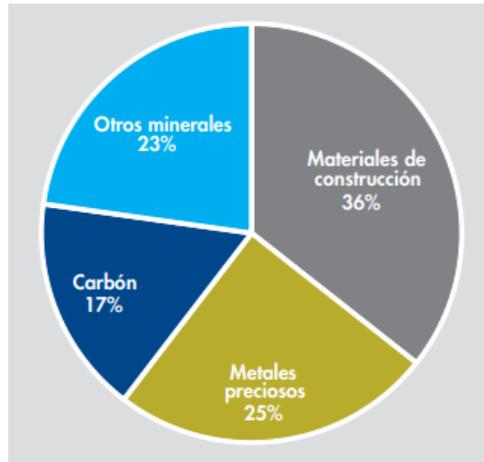
Minerales que se explotan en Colombia:

- Carbón: quinto mayor exportador mundial.
- Metales y piedras preciosas: oro, plata y esmeraldas, que son reconocidas en todo el mundo por su calidad y belleza.
- Minerales metálicos: níquel, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y titanio.
- Minerales no metálicos: sal terrestre, sal marina, gravas, arenas, arcillas, caliza, azufre, barita, asbesto entre otros.

En el 2015 la titularidad minera inscrita en el Registro Minero Nacional es de 9.291: 36% correspondían a materiales de construcción (el mayor porcentaje de los títulos otorgados en el

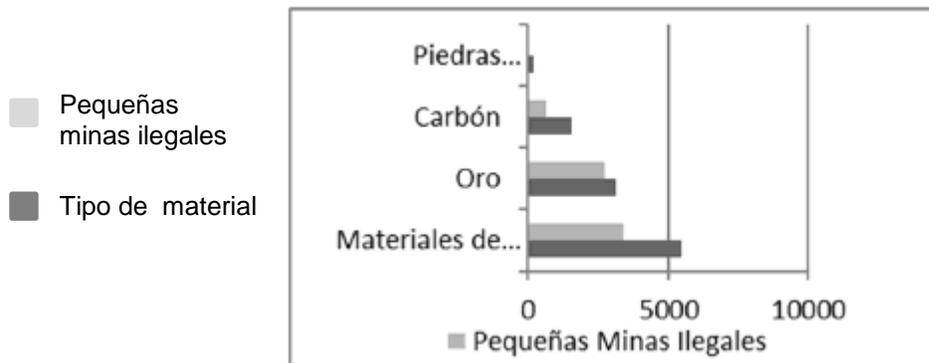
país), 25% a los metales preciosos, principalmente oro; 17% al carbón; y 23% a otros minerales (arcillas, cuarzo, hierro, esmeralda, sal, sílice, yeso, etc.) Además, el 46 % se encuentran en etapa de exploración, el 31 % en etapa de construcción y montaje, y el 23 % en etapa de explotación (Ministerio de Minas, 2016).

**Ilustración 1:** *Títulos mineros inscritos en el Registro Minero* (Ministerio de Minas, 2016)



Con respecto a los minerales más explotados en la pequeña minería, se destacan que son piedras preciosas (2%), carbón (15%), oro (30%) y minerales de construcción (53%) (Ortiz, 2017).

**Ilustración 2:** *Proporción de los tipos de materiales explotados en la pequeña minería.*(Ortiz, 2017)



## 2.2. Antecedentes teóricos

Durante los últimos años, los resultados de las investigaciones en el tema del uso de fibras naturales en concretos, en este caso el uso de cascarilla de café, hacen énfasis en el impacto que genera de forma positiva el uso de fibras naturales, tanto en la reducción de gasto de recursos medioambientales como el factor económico en la construcción. Se pondrán a continuación en manifiesto las investigaciones y sus alcances donde los grupos de trabajo e investigadores dejan en evidencia los ensayos y pruebas que dan a conocer un nuevo punto de vista y un resultado viable para las innovaciones en materia de construcción y la sostenibilidad.

“Los bloques con cascarilla de café presentaron mayor resistencia que los mismos hechos con cascarilla de café molida, esto es debido a que sus partículas son más pequeñas y por lo tanto necesitan de mayor cantidad de cemento para ser cubiertas. Según los datos obtenidos en el análisis de resistencia a la compresión demostró que las dosificaciones con mayor porcentaje de cascarilla tienen las menores resistencias” (Mercado, 2012).

“La falta de materiales de construcción que sean accesibles y autosustentables provocan la escasez de vivienda digna en México. Por otro lado, en zonas cafetaleras de México, el desecho del café (la cereza o cascarilla) alcanza a ser de una tonelada anual, lo cual genera desperdicio que podría ser utilizado para la construcción” (Cantu et al., 2014).

Lo que más ha impulsado a la innovación de nuevos materiales en nuestros tiempos, es inicialmente los costos tan elevados que conlleva el campo de la construcción, es una idea aún dominante, y en segunda instancia, el impacto ambiental que está dejando la utilización de recursos naturales para el desarrollo de estos materiales, con iniciativas como la utilización de residuos tanto orgánicos como inorgánicos se han generado grandes iniciativas a favor del ambiente y la reducción de elevados costos.

El Mercado Central de Buenos Aires intenta buscar formas de reciclar residuos orgánicos, es así como Fabián Dragone presidente de la Corporación del Mercado Central afirma “En el futuro cada uno va a tener que hacerse cargo de sus residuos”. Es así como impulsando el reciclado de residuos para fabricar materiales de construcción desean volver inerte el material

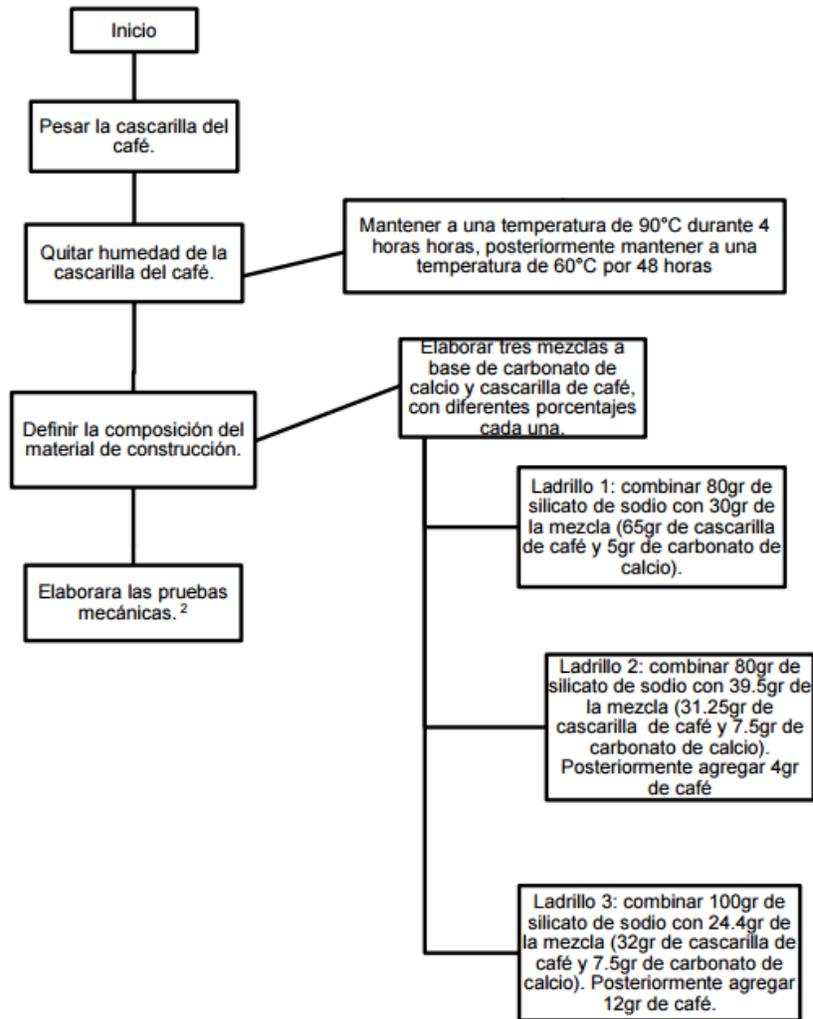
orgánico, para de esta manera reconvertirlo en baldosas o bloques para la construcción. (INFOREGIÓN, 2007).

Actualmente los costos de materiales de construcción de vivienda son altos y cada día tienden a incrementarse. Ante esta problemática se plantea como una manera de contribuir a su solución, el analizar y proponer nuevas alternativas de materias primas en la construcción que permitan obtener una reducción en los costos, con el cumplimiento de las normas y especificaciones de resistencia y seguridad (Roque & Medrano, 2012).

### **2.2.1. Antecedentes internacionales**

- Cantu, Mariza, Maciel, Mariana, Mangino, Marisú, Planas, Alejandra, Romero, Carolina Sánchez, Rocío (Cantu et al., 2014). Investigación realizada en la Universidad Autónoma de México, tiene como objetivo desarrollar una propuesta de un material de construcción ecológico para las comunidades cafetales de México. Los materiales principales fueron cereza de café canéfora, silicato de sodio y carbonato de calcio. Las pruebas a realizar fueron: base de ladrillos con cascarilla de café en polvo; base de ladrillos con cascarilla de café entera; absorción; presión máxima sostenida por cada ladrillo en la prueba de compresión.; prueba de absorción; prueba de combustión y prueba de resistencia.

**Ilustración 3:** Procedimiento Coffee Block (Cantu et al., 2014)



**Tabla 2:** Pruebas #1: Base de ladrillos con cascarilla de café en polvo (Cantu et al., 2014)

<i>BASE</i>	<i>#1</i>	<i>#2</i>	<i>#3</i>	<i>#4</i>
Cascarilla de café	65gr	62.5gr	60gr	57.7gr
Carbonato de calcio	10gr	7.5gr	5gr	2.5gr

Esta base fue combinada con el silicato de sodio, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3 Pruebas#1: Base de ladrillos con cascarilla de café en polvo (Cantu et al., 2014).**

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>#1</b>	<b>#2</b>	<b>#3</b>	<b>#4</b>
Silicato de sodio Base	100gr 25gr	100gr 13.4gr	100gr 25gr	100gr 20gr

**Tabla 4 Pruebas #1: base de ladrillos con cascarilla de café entera (Cantu et al., 2014)**

<b>BASE</b>	<b>#1</b>	<b>#2</b>	<b>#3</b>	<b>#4</b>
Cascarilla de café	65gr	31.25gr	60gr	21.9gr
Carbonato de calcio	5gr	7.5gr	5gr	2.5gr

Después de realizar este método experimental se puede concluir que efectivamente se puede elaborar un material de construcción a partir de la cascarilla de café, pues mezclada con silicato de sodio y carbonato de calcio se logró tener las propiedades de un ladrillo. Los ladrillos elaborados con cascarilla molida, tardan más en secarse a temperatura ambiente. Después de 8 semanas, se encontró que tienen alta dureza y resistencia. De forma general se puede concluir que el ladrillo con mayor concentración de carbonato de calcio, tuvo buenos resultados en la mayoría de las pruebas y es una alternativa como material de construcción que supone un beneficio económico y ecológico. (Cantu et al., 2014).

**Tabla 5: Resultados de la prueba de absorción (Cantu et al., 2014).**

<b>MUESTRA</b>	<b>#1</b>	<b>#2</b>	<b>#4</b>
Observaciones	La muestra perdió su estructura y composición. Por esta razón este ladrillo no paso la prueba.	La muestra mantuvo su estructura, composición y dureza. Esta muestra aumento 24% de su peso inicial (peso final de 96.07gr).	La muestra perdió su estructura y composición. Por esta razón este ladrillo no paso la prueba.

**Tabla 6: Presión máxima sostenida por cada ladrillo en la prueba de compresión (Cantu et al., 2014).**

<b>MUESTRA</b>	<b>#1</b>	<b>#2</b>	<b>#4</b>
Presión alcanzada antes de quebrarse	4KN	3KN	3.7KN

- Edwin, Rimay Vásquez (2017), en su tesis *“Diseño de concreto fibroreforzado de  $F'_{C}=250\text{ kg/cm}^2$  con fibra vegetal en la ciudad de Jaén”* para optar el título de Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Cajamarca del Perú, determinó la influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto reforzado con fibras vegetales (cascarilla de arroz), al considerar que el uso de la cascarilla de arroz podría aumentar la resistencia en el concreto y paralelo disminuir su costo de producción, estudiando el comportamiento físico y mecánico del concreto.
- Concluye, que la adición óptima de la cascarilla de arroz para obtener una resistencia a la compresión similar al diseño patrón es de  $10\text{kg/m}^3$ , ya que a mayor adición disminuye drásticamente, no solamente su resistencia a la compresión sino también a la tracción, por lo que recomienda realizar un estudio de preservación de la fibra vegetal antes de adicionar al concreto convencional para aumentar su durabilidad, a la vez que realizar pruebas acústicas y térmicas es otra recomendación, para así, conocer a fondo este tipo de concreto y llegar a inferir sobre las aplicaciones que podría llegar a tener el nivel de productividad y estudiar la posibilidad de la validez de la adición de la cascarilla de arroz con concreto conformado por cemento más agregado finos con fines de controlar las fisuras (ref.2).
- Por su parte, Jimmy Sierra, Hyman Roque, Jared Medrano (2012), desarrollaron una investigación que contó con el apoyo técnico y financiero de la fundación para el desarrollo tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua (FUNICA), con la finalidad de aprovechar la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción. Se utilizaron diferentes proporciones para la fabricación del bioconcreto. La proporción 1:4:2 indica que se utilizó una parte de cemento, cuatro partes de arena y dos partes de material cero, para la proporción 1:3:3 significa que se empleó una parte de cemento, tres partes de arena y tres partes de material cero. La cantidad de muestras que se realizaron fueron 18 para la dosificación de 1:4:2 para luego realizar las mediciones de la resistencia de los bloques a los 14 y 28 días. Esto se comparó con la otra dosificación de 1:3:3, a la cual también se le realizaron 18 muestras.

Para cada dosificación de 6 muestras se le fue agregando cascarilla en porcentaje de 19%, 20% y 30%. Se puede apreciar en la siguiente tabla que la cascarilla de café en su

estado natural o molida se comporta similar al árido fino, es por ello que en las dosificaciones se utilizó para disminuir la arena.

**Tabla 7:** *Análisis granulométricos de los materiales (Roque & Medrano, 2012)*

<b>MATERIALES</b>	<b>% QUE PASA POR TAMIZ</b>								
	<i>3/8´</i>	<i>N°4</i>	<i>N°8</i>	<i>N°16</i>	<i>N°30</i>	<i>N°50</i>	<i>N°100</i>	<i>N°200</i>	<i>MF</i>
Arena	99	92,87	72,81	45,43	24,26	4,82	0,8	0,06	3.59
Material cero	100	97,41	52,88	22,52	8,68	2,4	0,05	0	4,17
Cascarilla de café	100	96,66	44,85	11,43	2,55	0,45	0,08	0	4,44
Cascarilla café molida		95,2	75,6	43,76	16,66	3,31	0,33	0	3,65

Se concluye que el material cero es considerado un agregado fino debido a que en la prueba granulométrica pasó por todas las mallas del agregado grueso. La mejor proporción para esta investigación se considera que fue 1:3:3 cumpliendo los estándares de calidad, la proporción de la cascarilla es del 10% dando como resultado 44.20kg/cm<sup>2</sup> según las normas de la ASTM.

Los datos de resistencias reflejaron que el curado es determinante para obtener mayores resistencias, ya que entre el curado de 14 días y el de 28 días hay diferencias considerables. Según los resultados que obtuvieron en los ensayos de resistencia al a compresión demostró que las dosificaciones con mayor porcentaje de cascarilla tienen las menores resistencias (Roque & Medrano, 2012). (ref.3).

## 2.2.2. Antecedentes nacionales

- García Carlos Daniel, Olaya Julio Mario (2011). Estudiantes que realizaron este trabajo que hace parte de la línea de investigación sobre materiales de construcción, han venido trabajando la sección de construcciones agrícolas del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia. Ahondar en un material de común conocimiento y aplicación pero que dosificado con áridos orgánicos provenientes de desechos de las agroindustrias, como el caso de la cascarilla o cisco de café, no tenían conocimiento de su comportamiento mecánico ni de sus propiedades térmicas. Los materiales a utilizar fueron:

Cascarilla de café (Tabla 7 materiales de desperdicios obtenidos en el beneficio de un kilogramo de café cereza).

Cal agrícola.

Cemento.

**Tabla 8:** Muestra gráficamente el proceso de beneficio para el grano de café y sus materiales de desperdicio. (García; & Olaya;, 2011)

<i>PROCESO</i>	<i>PERDIDA(GRS.)</i>	<i>MATERIALES</i>
Despulpado	394	Pulpa fresca
Fermentación	216	Mucílago
Trilla	35	Cascarilla
Secado	171	Agua
Torrefacción	22	Cafeína y sustancias volátiles
Preparación de la bebida	<u>104</u>	Borra
Pérdida total	942	

### PRUEBAS:

1. Sumergir la cascarilla de café en su estado natural, tal como sale en la trilladora en una solución de agua cemento al 5% en peso durante 30min. Agitado constante.
2. Se diseñaron mezclas con diferentes combinaciones de relación agua-cemento.
3. Ensayos de compresión
4. Ensayos de conductividad térmica

## RESULTADOS:

El asentamiento, contracción longitudinal y volumétrica, la resistencia a la compresión, la conductividad térmica y el módulo de rotura se muestran en tabla 2 y 3 correspondiendo cada una a los dos estados de manejo de la cascarilla, sin tratar y mineralizada.

Con el tratamiento mineralizante de la cascarilla se aumenta el peso específico aparente seco en un 12% debido a que se disminuye el volumen de poros de ésta, se disminuye el peso unitario suelto en un 23% porque se dificulta el acomodamiento de la cascarilla como consecuencia de la rigidez que adquiere y se produce una disminución en la absorción en un 10% causada por la disminución en el volumen de poros. El hormigón ligero con cascarilla de café es un buen aislante térmico ya que los valores obtenidos de conductividad térmica (K) para las diferentes mezclas ensayadas son menores a los que se obtienen para el hormigón con cascarilla de arroz.

## RECOMENDACIONES:

Cuando se utiliza cascarilla mineralizada se disminuye la manejabilidad de la mezcla ( $A/C=0.5$  Y cemento cascarilla =1:4) hasta el punto de no poder determinar su asentamiento, se disminuye el tiempo de fraguado a 24 horas de fundida la mezcla y se produce un aumento de resistencia a la compresión a los siete días del 50%.

Es recomendable investigar más a fondo el tratamiento mineralizante de la cascarilla, teniendo en cuenta que al calentar la mezcla (cascarilla-agua-mineralizante) disminuirá el tiempo de mineralización y aumentaría la calidad de los resultados. (Garcia; & Olaya;, 2011) (ref.4).

- Ríos Juan Carlos, Aguirre Mauricio, Munera Daniela (2015). El objetivo de esta investigación consistió en utilizar un material de construcción alternativo que sea sostenible. Uno de los residuos del café es la cascarilla, la cual se utilizó en esta investigación para el uso del concreto con el fin de reducir los costos de producción del mismo, e impactar de forma positiva al medio ambiente.

Los materiales que utilizaron fueron:

CASCARILLA DE CAFÉ: seleccionada del tipo de café factor 85 del municipio de Ciudad Bolívar (suroeste antioqueño), secada en un horno a 55° durante 25 horas, proceso propio del café para evitar que se degrade.

CEMENTO PORTLAND Tipo I

CLORURO CÁLCICO

PRUEBAS: 5 Cilindros: 1 Muestra de concreto sin adición de cascarilla de café (Muestra patrón) (M1); 2 Muestras iguales con adición de cascarilla de café con un 15% de relación de volumen respecto al cemento (M2); 2 Muestras iguales con adición de cascarilla de café con un 15% de relación de peso respecto al cemento (M3); se caracterizaron las arenas y triturado empleado en la elaboración de mezclas, utilizando las mallas recomendadas por la norma 174 dada por Icontec (2000).

RESULTADOS:

El comportamiento de la cascarilla de café para mejorar o igualar la resistencia de concreto, no se obtuvo como se esperaba debido a que es necesario hacer un proceso más elaborado a la cascarilla, para que tenga un comportamiento óptimo es necesario darle un tratamiento previo para brindarle una protección contra el medio alcalino de la pasta de cemento. Se observa como la presencia de cascarilla de café reduce la energía embebida presente en las muestras en relación al concreto aunque un cálculo más exacto sería tener en cuenta la energía embebida de la cascarilla pero para este trabajo no fue posible contar con este dato pero por experiencia con otras fibras sería un valor menor al del concreto lo que sigue arrojando un valor menor.

**Tabla 9:** Características de los cilindros (RIOS, AGUIRRE, & MUNERA, 2015)

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Área (m <sup>2</sup> )	176,7	176,7	176,7
Volumen (m <sup>3</sup> )	4948	5124,7	5301,4
Peso (Kg)	12,62	12,3	8,78

Carga (KN)	589,5	324,8	8,3
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,55	2,4	1,65
Presión (Mpa)	33,36	18,4	0,47

Se concluye que para el uso de materiales naturales como en este caso cascarilla de café es necesario hacer un recubrimiento para brindar protección frente al medio alcalino del cemento, lo cual se puede hacer con: aceite de linaza, aceite de linaza + resina natural, parafina, parafina + resina natural, sellador para madera o creosota.

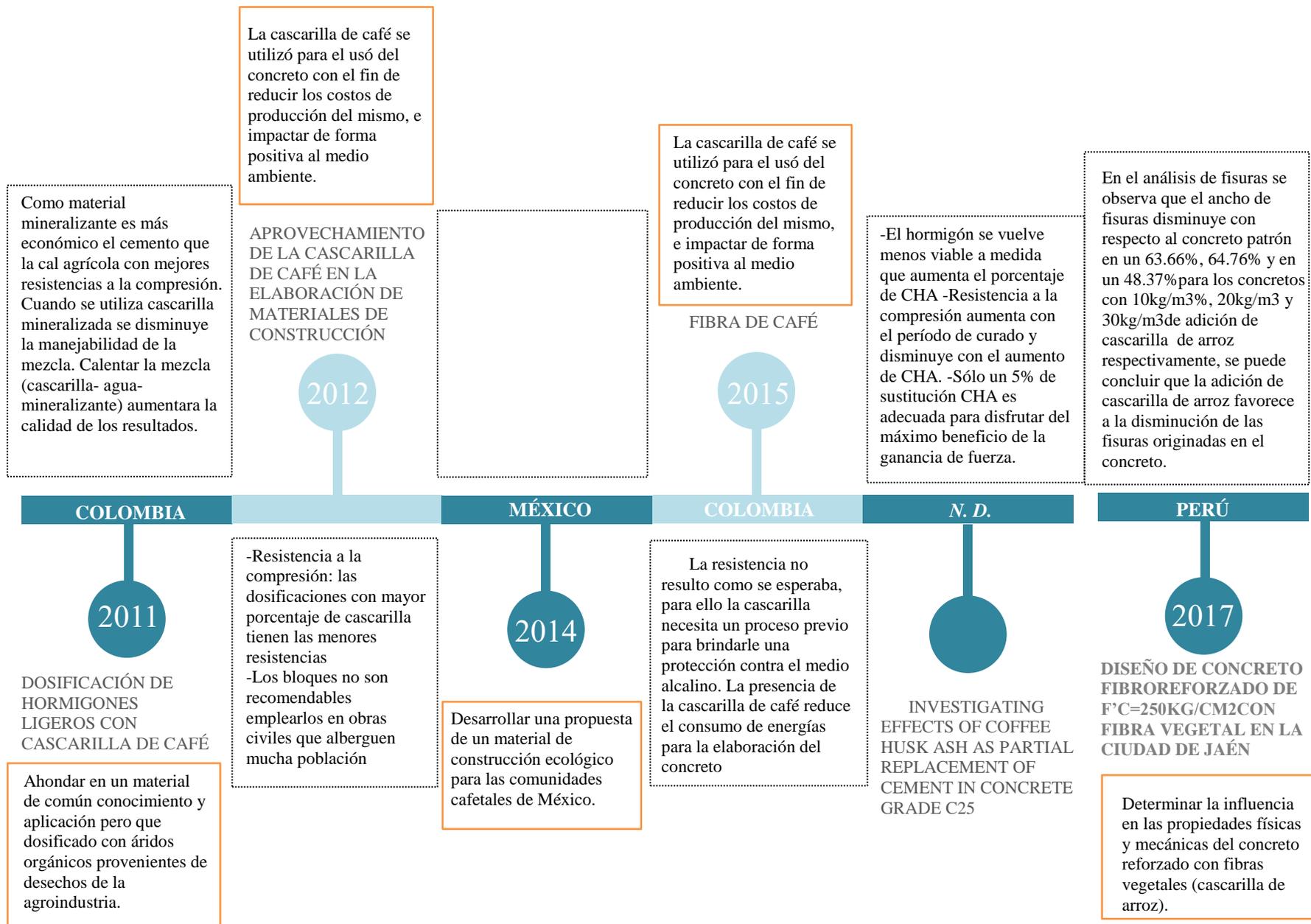
Los materiales alternativos son más económicos que los utilizados tradicionalmente. La presencia de la cascarilla de café reduce el consumo de energías para la elaboración del concreto. (RIOS; et al., 2015) (ref.5).

- Carvajal Corredor, Iván Leonardo y Terreros Rojas, Luis Eduardo (2016). Realizaron un trabajo de Investigación para el programa de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia *“Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo”* con el objetivo de determinar y analizar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo en condiciones normales y así establecer las condiciones en que se va a trabajar la fibra adicionándola al concreto.

Se elaboraron 12 especímenes cilíndricos, 6 con fibra de cáñamo y 6 normales con el fin de obtener la resistencia a la compresión a los 7 días, 14 días y 28 días, igualmente se elaboraron 2 viguetas adicionando fibra de cáñamo para determinar la resistencia a la flexión a los 28 días; todo siguiendo la norma I.N.V. E sección 400 - concreto hidráulico. Como se evaluaron unos concretos con fibra y otros normales, a los que se le adiciono fibra, la cual con anterioridad se trató con la cal hidratada; según las investigaciones de Quintero y González (2006), se sumerge la fibra en una lechada de cal (10g por litro de agua) durante 48 horas.

Se concluyó que, por medio de un diseño de mezcla elaborado a partir del método de peso y volumen absoluto, utilizando los datos suministrados de la empresa CEMEX Colombia S.A. y Concretosol S.A, se logró con precisión la resistencia a la compresión esperada a los 28 días. En los primeros 7 días el concreto con fibra de cáñamo supero

la resistencia del concreto normal con un 78.75% de la resistencia esperada y con una diferencia promedio entre los dos concretos de 120 psi; a los 28 días el concreto con fibra presento una tendencia totalmente diferente, pues se esperaba que este superara la resistencia de 4000 psi, donde igualo la resistencia alcanzada del concreto normal, donde el concreto normal llego con una resistencia de 100.34% y el concreto con fibra llego a un 100.49%, frente a la resistencia calculada en el diseño de mezcla (Terreros Rojas & Carvajal Corredor, 2016). (ref.6).



**Ilustración 4:** Línea del tiempo - tesis con uso de cascarilla de café (autoría propia).

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Concreto**

Material compuesto que consiste en un medio adherente en el que están embebidas partículas o fragmentos de agregados. Es una mezcla compuesta por los agregados de arena, piedra, agua y cemento; inicialmente tienen características de plasticidad y moldeabilidad y con posterioridad su estado físico será endurecer y adquirir propiedades resistentes permanentes. El concreto es el material más usado en el mundo después del agua (Neville, 1999). La versatilidad es la importancia que radica en el concreto llevándolo a altos desempeños usos y aplicaciones.

#### **2.3.1.1. Propiedades**

Las siguientes son las ventajas que hacen del concreto un material imprescindible para la construcción, y un material que responde ágilmente a los principales desafíos de la infraestructura son:

- Capacidad de resistir a una gran variedad de condiciones climáticas durante todo su tiempo de vida útil.
- Material de alta disponibilidad, puede ser fabricado en cualquier parte del mundo optimizando los costos.
- Su maleabilidad permite variaciones estéticas y arquitectónicas.
- En aplicaciones de infraestructura el uso de concreto es insustituible.

Todas estas características han permitido el desarrollo de grandes obras e infraestructuras a nivel mundial cuyo éxito está ligado a la implementación de avanzadas tecnologías en materiales de construcción (Ceballos Arana, 2016).

### **2.3.2. Concreto fresco**

Etapa en la cual el concreto se puede transportar, colocar en una formaleta y realizar los procesos de vibración. Las propiedades en estado fresco deben permitir que se llene adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire atrapada. Esta propiedad se puede determinar mediante varios métodos de ensayo, como son la manejabilidad, segregación, exudación, masa unitaria, contenido de aire y contenido de agua (Guzmán, 2001).

### **2.3.3. Concreto endurecido**

Es la etapa en la cual el concreto adquiere sus características potenciales de resistencia máxima. En general las propiedades mecánicas del concreto dependen en gran medida por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y la interface pasta – agregados, los cuales a su vez son modificadas por los procesos de colocación y condiciones de curado (Guzmán, 2001). Cuando ya ha fraguado presenta las siguientes propiedades:

- a) Resistencia
- b) Resistencia a la compresión
- c) Impermeabilidad y estanquidad
- d) Durabilidad

## **2.4. Componentes del concreto**

### **2.4.1. Cemento**

Un cemento se define como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable. Sin embargo esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes y los que realmente importan desde el punto de vista de la construcción son los cementos hidráulicos; llamados así porque tienen la peculiaridad de desarrollar sus propiedades (fraguado y endurecimiento) cuando se encuentran en presencia de agua, en virtud a que experimentan una reacción química con ella.

El cemento constituye entre el 7 y 15% de volumen total de la mezcla y por tanto influye en todas sus características ((ASOCRETO), n.d.).

**Tabla 10:** *Tipos de cemento Portland ASTM C -150 (ASTM INTERNATIONAL, n.d.)*

<b>TIPO</b>	<b>APLICACIÓN</b>
<i>TIPO I</i>	Para usar cuando no se requieran las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
<i>Tipo IA</i>	Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo I, donde se desea incorporación de aire.
<i>TIPO II</i>	Para uso general, más específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o calor de hidratación moderado.
<i>Tipo IIA</i>	Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo II, donde se desea incorporación de aire.
<i>TIPO III</i>	Para usar cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.
<i>TipoIIIAM/em</i>	Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.
>	
<i>TIPO IV</i>	Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
<i>TIPO V</i>	Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

## 2.4.2. Agua

Por lo general, se recomienda que el agua sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor para que pueda usarse como agua de mezclado o curado en el concreto o el mortero , sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas, en altas concentraciones, sales, cítricos, azúcares entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto o el mortero, de otra parte, el agua que puede ser adecuada para el concreto o mortero no necesariamente debe ser buena para beber (Diego Sánchez De Guzmán, 2011).

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y al durabilidad del mortero o del hormigón (Rivera L, n.d.).

### 2.4.3. Agregados

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que han tenido una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland.

La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,76 mm (tamiz No.4) y no menor de 0,074mm (tamiz No. 200), es lo que comúnmente se denomina AGREGADO FINO; y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76mm (tamiz No. 4) denominado AGREGADO GRUESO (Rivera L, 2006).

## 2.5. Normativas para ensayos

**Tabla 11:** Normas técnicas para ensayos de laboratorio (Edwin, 2017)

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMATIVA</b>	
	<i>ASTM</i>	<i>NTP</i>
<b>Agregados</b>		
Muestreo de agregados	D-75	400.010
Peso específico y absorción	C-127	400.021
	C-128	400.022
Contenido de humedad	C-566	339.185
Análisis granulométrico	C-136	400.012
Cantidad de material fino que pasa el Tamiz N°200	C117	339.132
Peso unitario	C-29	400.017
<b>Concreto</b>		
Muestreo de concreto fresco	C-172	339.036
Asentamiento-slump	C-143	339.035
Peso unitario, rendimiento	C-138	339.046
Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de laboratorio	C.192	339.183
Resistencia a compresión	C-39	339.034
Testigos cilíndricos		
<b>Cemento</b>		
Densidad del cemento Portland	C-188	334.005

## 2.6. Fibras en el concreto

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes no es nuevo, se remonta a varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910. Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferirían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana (Imcyc, 2007).

Las fibras para concreto se adicionan normalmente en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1%) y han mostrado eficiencia en el control de la fisuración por contracción del concreto. Las fibras no alteran considerablemente la contracción libre de concreto y, si son empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras. Las fibras para concreto generalmente son de acero, plástico, vidrio, de materiales naturales (celulosa de madera) y sistemas múltiples, disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores (DIFICONSA, n.d.).

### 2.6.1. Clasificación de fibras

Como refuerzo secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, (ASTMC 1116, EN 14889. EN 14889-2 ver normas actuales que rigen el empleo de las fibras pág.26) hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación, así:

**Tabla 12:** Clasificación de las fibras (Imcyc, 2007)

<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<i>Material</i> Metálicas	Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).
Sintéticas	Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliester etc.

<i>Vidrio</i>	Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.
<i>Naturales</i>	Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.
<b>Funcionalidad, geometría y dosificación</b>	
<i>Microfibras</i>	Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo.
<i>Macrofibras</i>	Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100.

#### 2.6.1.1. Uso en la construcción.

El ACI, clasifica a las fibras de acuerdo al uso en la construcción dividiéndolos de la siguiente manera:

- Fibra de acero (FA)
- Fibra de vidrio (FV)
- Fibra sintética (FSN)
- Fibra natural (FN) (ACI 544-1R) (American Concrete Institute (Aci), 2009).

## 2.7. Concreto reforzado con fibras vegetales

Concretos donde su composición está formada de pasta base cementante, agregados fino, agregado grueso, con adecuadas adiciones de fibras. Según la definición del ACI (American Concrete Institute) no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas.

### 2.7.1. Fibras vegetales

Los órganos, las secciones y las fibras de las plantas son denominados fibras vegetales, se pueden definir como todos los elementos estructurales que hacen parte de los tejidos orgánicos de las plantas, y constituyen su esqueleto. Los factores que definen el nivel de consistencia de cada una de las fibras dependen del órgano o tejido del cual sean extraídos y del grado de unión entre ellos. La longitud y la forma de los cordones de fibras también varían dependiendo de esos mismos factores (Artesanía, 2014).

**Tabla 13:** Origen de las fibras (VERHOOKS, n.d.)

<b>ORIGEN DE LAS FIBRAS</b>	<b>TIPO</b>
<b>Semillas</b>	El algodón
<b>Tallos</b>	Capoc o Kapok Lino Cáñamo Yute Ramio Albaca Sisal Rafia
<b>Fruto</b>	Bambú Coco
<b>De la cascara y fruto</b>	Cereales: Arroz, avena, centeno, cebada, trigo

Las fibras en el concreto tienen como función principal mejorar la resistencia a tracción y evitar el agrietamiento, cuando las fibras pierden su resistencia, el producto es equivalente a un concreto no reforzado. Sin embargo, en ese momento el concreto habrá alcanzado su resistencia total, y como el agrietamiento se ha evitado en las etapas iniciales, podría ser más resistente que un producto similar hecho sin refuerzo.

Aproximadamente el contenido general de fibra vegetal es del 1 a 2% del peso, no será nunca del volumen ya que las densidades de las fibras pueden variar grandemente (Stulz & Mukerji, 1993).

### 2.7.2. Características mecánicas del concreto con fibras

Dentro de las características más importantes del concreto están las siguientes:

#### 2.7.2.1. Resistencia a la compresión

El uso de las fibras no tolera incrementos significativos en este ensayo. En sus resultados puede haber una leve variación tanto en el incremento como en el decremento en la resistencia.

Es importante el tamaño de las probetas, cuanto menor sea, se obtendrán mayores resistencias a la compresión, debido a que se acentúa un alineamiento preferente de las fibras. A medida que aumente la longitud de la fibra el efecto será mucho más sensible (ACI 544-1R) (American Concrete Institute (Aci), 2009).

#### 2.7.2.1. Resistencia al impacto

Los concretos reforzados con fibras presentan características principales como su resistencia a los impactos por absorción de energía, adicional a esto presentan una menor tendencia a la desfragmentación y al desprendimiento (ACI 544-1R) (American Concrete Institute (Aci), 2009).

#### 2.7.2.2. Resistencia a la flexión

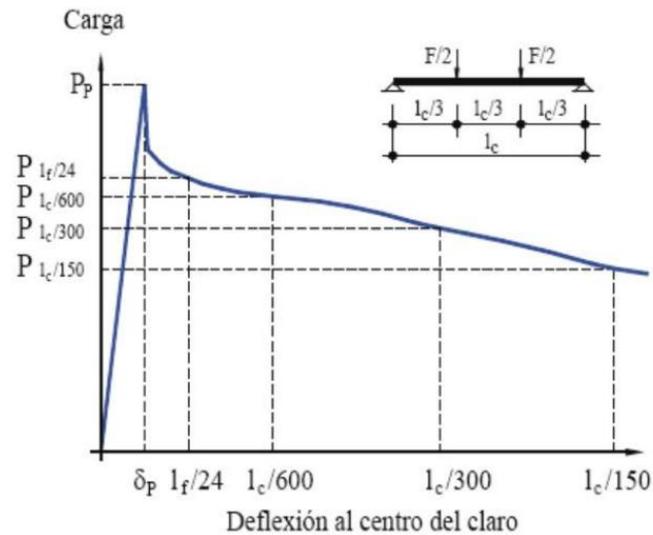
La resistencia a la flexo tracción es evidentemente mayor que la resistencia a la compresión y tracción, debido al comportamiento dúctil del concreto reforzado con fibra en la zona fisurada por tracción desarrollando resistencias residuales (Carvajal, 2015).

### **2.7.3. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras vegetales**

La función principal de las fibras vegetales que se agregan, es de soportar las tracciones después de la primera fisura del concreto, teniendo presente que el aporte de refuerzo de las fibras es diferente a la del armado convencional de acero.

En el momento que aparece una fisura, las fibras quedan expuestas, siendo estas las responsables de mantener el elemento adherido. Teniendo como resultado que las fibras actuantes tengan diferentes esfuerzos al momento de la fisura. La curva característica Carga Vs. Deflexión en concretos reforzados con fibras, sometidas a ensayos de tracción por flexión, se puede observar en la figura 4. (Carvajal, 2015)

**Ilustración 5:** Curva característica Carga VS. Deflexión en concretos reforzados con fibras (Carvajal, 2015).



Lograr una buena homogenización de la fibra vegetal en la elaboración de la mezcla, garantizara una buena distribución, organización y adecuada orientación de la fibra, aportando así en su resistencia, siendo lo contrario, se podría suponer que su contribución al concreto sea nula. (Carvajal, 2015).

Las características que se potencializan, al emplear adiciones de fibra vegetal en los concretos, son la resistencia y durabilidad. La fibra ayuda a cohesionar el material entre sus agregados, con esto evitando la segregación del agregado.

#### 2.7.4. Normativa de concreto con agregados vegetales

Se tiene como referencia para esta investigación la normativa del Instituto Americano del Concreto (ACI) y la sociedad Estadounidense para pruebas y materiales (ASTM), dentro de las cuales se otorgan una serie de parámetros para el diseño de concretos reforzados con fibras, teniendo presente, las características a las cuales se deben regir los materiales que son utilizados en las mezclas de concretos.

El documento ACI 544R-96, informe sobre hormigón armado con Fibra Homologar (2009), es una guía potencial, para el diseño de concretos con fibras naturales. Dentro del informe ACI 544 se puede encontrar una descripción del tipo de fibras referenciando consigo, métodos,

proporciones, practicas, materiales y necesidades para el tipo de investigación, incluyendo los concretos reforzado con fibra natural (American Concrete Institute (ACI), 2009).

## **2.8. Aplicaciones del concreto reforzado con fibras**

### **2.8.1. Túneles**

El uso de fibras de acero para el revestimiento de túneles, hadado importantes resultados, tanto en su colocación como en su desempeño estructural, logrando alcanzar una alta resistencia en pocas horas. El uso de las fibras de acero en el concreto ha dado una pauta para obviar el uso de malla electro soldada, ya que las fibras logran cubrir esta necesidad de elementos de refuerzo en las obras de construcción.

### **2.8.2. Pavimentos**

Se sabe que el concreto para el uso en pavimentos requiere de unas especificaciones particulares, para de esta manera lograr contrarrestar las fuertes exigencias estructurales, entre ellas las más importantes:

- Resistencia a flexo tracción
- Resistencia a fatiga
- Trabajabilidad
- Mínima retracción

### **2.8.3. Otros usos**

Las fibras, hacen una fuerte participación en la elaboración de elementos prefabricados, tal es el caso de elaboración de placas de fachada, tanques, plantas industriales, piscinas, pisos industriales, canales, muebles para parques, piezas para el hogar entre otros.

## 2.9. Concreto arquitectónico

El concreto arquitectónico es aquel que por sí mismo o por medio del tratamiento superficial que se le aplique, permite ser el protagonista del aspecto, acabado o si se quiere, personalidad de lo edificado, sin dejar de lado su función estructural (Cementos Argos S.A, 2010).

*Tabla 14: Uso para el concreto arquitectónico (Argos, 2018)*

<b><i>ESTRUCTURALES</i></b>	<b><i>URBANÍSTICOS</i></b>	<b><i>ARQUITECTÓNICOS</i></b>
Muros en Tilp Up. Muros de contención. Prefabricados. Columnas, losas, y vigas. Muros para sistema industrializado de construcción de vivienda.	Senderos peatonales y pisos. Elementos de amueblamiento urbano. Aplicaciones en parques y espacio público.	Elementos texturizados en concreto. Fachadas. Decks.

### 2.9.1. Prefabricados

Los prefabricados en concreto son una opción vanguardista que además de ofrecer variedad de usos permite ahorrar tiempo y dinero. Su durabilidad, resistencia y versatilidad continúan consolidándolo como una de las mejores alternativas en la construcción ((IMCYC), 2017).

La prefabricación es anterior a la industrialización, considerando que el ladrillo fue el primer elemento producido fuera de obra, con sistemas que se han ido prolongando a través del tiempo con nuevos métodos, procedimientos, equipos, materiales, entre otros. Es una manera rápida, moderna, versátil y energéticamente eficiente forma de construir cualquier tipo de edificación (Novas, 2010).

#### 2.9.1.1. Clasificación

Estos elementos se clasificarán dependiendo de variables como función, peso, dimensiones, formato, método de producción, materiales, entre otros.

**Tabla 15:** Clasificación de los elementos prefabricados. (Novas, 2010)

<b>CLASIFICACIÓN DE PREFABRICADOS</b>	
Según el grado de prefabricación	Parcial Total
Según su función	Resistente Cerramiento Ornamental
Según su peso y dimensiones	Livianos (<30Kg) Semipesados (<500Kg) Pesados (>30Kg)
Según su formato	Bloques Paneles Elementos lineales
Según su método de ejecución	Industrial a gran escala Taller Fabricación baja técnica
Según sus materiales	Hormigón armado Hormigón pre – pos tensado Acero Aluminio Madera Plástico

## 2.9.1.2. Procesos de producción

### 2.9.1.2.1. Encofrado

Elementos auxiliares destinados al moldeo “in situ” de concretos y morteros con el fin de contener, soportar y moldear el concreto fresco hasta su endurecimiento. Estructuras temporales, su colocación tarda algunas horas y que, en pocos días, se desmontan para su posterior reutilización. Para un fácil y adecuado desmonte, sin afectar acabado y/o color del concreto, se suele utilizar desmoldantes (barnices antiadherentes y preparados a base de aceites solubles en agua) para simplificar el desencofrado y si son de madera, se deben humedecer antes para impedir que absorban agua del concreto (Piqueras, 2017)

### 2.9.1.2.2. Vaciado del concreto

Para efectos del vaciado del concreto, se debe cumplir el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Capítulo C.5) y la norma NTC 3318 o ASTM C94. Se debe recurrir a una serie de pasos anterior al vaciado, los equipos de transporte deben estar limpios, el refuerzo libre de óxidos o grasas, los encofrados recubiertos con desmoldante,

además no puede haber estancamientos de agua y en caso de tener superficies de concreto colocado anteriormente que vayan a estar en contacto directo con el concreto nuevo, deben haber recibido el tratamiento de juntas específico. El concreto debe alcanzar una consistencia que permita su colocación en todas las esquinas o ángulos de las formaletas, alrededor del refuerzo, y de cualquier otro elemento embebido, sin que haya segregación. El concreto se debe colocar tan pronto sea posible, y nunca después de treinta minutos de preparada la mezcla, a menos que haya sido dosificada con algún tipo de aditivo autorizado (SAOV, 2018).

#### 2.9.1.2.3. Vibrado del concreto

Es vital este procedimiento durante la colocación del concreto, este se debe colocar con la ayuda de un equipo mecánico de vibradores, complementado por labores manuales, esto con el fin de eliminar la cantidad de aire que hay en la mezcla producido durante el vaciado, también, hace que se comporte como un líquido espeso y se consolide mejor. Este procedimiento debe complementarse golpeando exteriormente con martillo neumático, o usando varillas en las esquinas y ángulos de las formaletas, mientras el concreto este todavía plástico y manejable, a fin de impedir vacíos (SAOV, 2018).

#### 2.9.1.2.4. Desencofrado

El desencofrado debe realizarse sin movimientos bruscos. Se debe efectuar cuando el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente para soportar con seguridad su propia carga, más cualquier otra que se quisiese sobreponer. Teniendo en cuenta la normativa, el ACI "American Concrete Institute" en su documento ACI 347R (Guide to form work for concret), recomienda que se utilice el criterio de ganancia de resistencia que haya definido el ingeniero estructural para determinar la edad del concreto para desencofrar (SAOV, 2018).

#### 2.9.1.3. Ventajas ambientales

- Poco desperdicio de materiales debido a dosificaciones de mezclas más precisas y controladas.
- Mayor posibilidad de reciclar desechos y aguas grises. Una fracción de los agregados puede estar constituida por concreto reciclado con el tratamiento adecuado.

- Los componentes principales del concreto son obtenidos principalmente a nivel local, lo cual reduce los requerimientos de transporte, energía y emisiones asociadas a este.
- En el sitio de obra se reduce el polvo, escombros y otros desechos, teniendo un control y aprovechamiento total sobre ellos.(Guerrero, 2013).

## **2.10. Diseño Urbano**

### **2.10.1. Espacio Público**

El espacio público moderno, se define a partir de la separación formal entre la propiedad privada urbana y la propiedad pública. Tal separación normalmente supone reservar el suelo libre de construcciones (excepto equipamientos colectivos y servicios públicos) para usos sociales (esparcimiento, actos colectivos, transporte, actividades culturales y a veces comerciales, etc.) (Segovia y Neira, 2005). Para un adecuado y apropiado diseño, es importante evaluar, características sociales y las actividades para las cuales serán diseñadas para así corresponder a cada una de estas y así satisfacer de manera óptima, duradera y efectiva las necesidades que lo originaron.

### **2.10.2. Pisos**

Dentro de las posibilidades que nos permite el concreto para moldearse, esta esta técnica, la cual consiste en estampar, colorear y endurecer una superficie de concreto para obtener una apariencia natural de materiales tales como ladrillo, laja, piedra o cerámica permitiendo por su versatilidad, variedad de diseños y colores. Es una técnica de un gran valor arquitectónico, con costos reducidos, diversidad, ideal para pisos, veredas y accesos (Barbosa, 2013).

#### **2.10.2.1. Usos**

- Comerciales e industriales: galerías, supermercados, complejos habitacionales, plazas, aceras, caminos, senderos peatonales, veredas, estacionamientos y, en general todo tipo de piso con alto tránsito vehicular y peatonal.

- Residenciales: pisos interiores o exteriores, patios, caminos interiores, huellas, zonas de esparcimiento, bordes de piscina, escaleras, garajes entre otros.

#### 2.10.2.2. Ventajas

Los pisos de concreto estampado son logrados con un tratamiento que le confiere gran resistencia a la superficie y con una terminación final con un sellador que protege los colores y sella los poros del material. Se evita la construcción del contrapiso, la carpeta de asiento y la mezcla para la colocación del piso, y queda libre de todo mantenimiento por muchos años (Barbosa, 2013).

- Múltiples opciones de colores
- Alternativas estéticas
- Permite pulirse manteniendo su integridad
- Alternativa competitiva para acabados que simulen piedra natural, madera, baldosas
- Fácil y rápido de instalar en comparación con otras alternativas
- Menor mantenimiento debido a tener un color integral

Según el color, puede disminuir el efecto Isla de calor, aumentar reflectividad y disminuir el consumo energético

#### 2.10.3. **Mobiliario Urbano**

El mobiliario urbano prescribe el espacio público y se constituye en elemento esencial de la identidad y el paisaje de las ciudades. Se considera como elementos complementarios a espacios de vías, parques, alamedas, caminos y aceras de uso público con el fin de facilitar las necesidades del ciudadano mejorando su calidad de vida en entornos favorables y a su vez, fomentando el uso adecuado de los espacios públicos para un bien general.

##### 2.10.3.1. Clasificación según su función

- Elementos de Iluminación: columnas para lámparas, farolas, apliques, balizas, proyector y focos.

- Elementos de jardinería y agua: elementos que se relacionan con la vegetación y el riego, las fuentes y las evacuaciones de agua
- Elementos de comunicación: están dados por los soportes para la comunicación como señalización, información o publicidad
- Elementos de servicios públicos: mobiliario dirigido a satisfacer las necesidades derivadas de los servicios públicos básicos de la ciudad como son: transporte, la telefonía, los estacionamientos para bicicletas, vigilancia de playas y juegos infantiles
- Elementos Comerciales: mobiliario destinado al uso comercial que tradicionalmente se realiza en la vía pública: kioscos de libros, bares y puestos de mercado
- Elementos de limpieza: indispensables en todo espacio público para recoger la basura más diversa: papeles, vidrio, metales, plásticos, cartones, pilas, etc.
- Elementos de Urbanización y limitación: Aquellos que por su extensión pueden ofrecer una visión unitaria del territorio de la ciudad (rampa vehicular, bordillos, barandilla, valla, barrera arquitectónica, bolardos, bancos, banquetas y sillas) (Rosas Chaves, 2014).

#### **2.10.4. Fachadas y elementos de concreto a la vista**

Su función no solo es estética, sino que debe garantizar un alto grado de protección. La mezcla de concreto para estos elementos debe cumplir con determinadas características especiales que le permitan estar expuesto a diferentes condiciones climáticas. El encofrado en las estructuras de concreto arquitectónico es de gran trascendencia dentro del proceso constructivo, pues además de ser esencial para lograr una respuesta adecuada a nivel estructural, debe responder a las expectativas del diseñador (Silva, 2015).

#### **2.10.5. Estampados**

Los acabados del concreto se clasifican en dos:

#### 2.10.5.1. Acabados directos.

Se entienden como superficies no tratadas, aquellos que son dejados tal cual después del retiro de las formaletas, lo que determinan el aspecto de la superficie resultante (Cementos Argos S.A, 2010).

#### 2.10.5.2. Acabados indirectos.

Concretos cuyas superficies son tratadas después del desencofrado, ya sea por medio químicos o mecánicos (comprende acabados cepillados, allanados, tratados con productos químicos, lavados con abrasivos, tratados con herramientas, tratamientos mixtos, entre otros) (Cementos Argos S.A, 2010).

**Tabla 16:** Tipos de acabados para el concreto arquitectónico (Cementos Argos S.A, 2010)

<i>ACABADOS</i>	<i>TIPOS DE ACABADOS</i>
<i>Acabados directos</i>	Acabados lisos Texturizados a partir de revestimientos Patrones naturales Incrustaciones Madera simulada
<i>Acabados indirectos</i>	Superficies acanaladas o estriadas Allanado o liso Tratamientos químicos Lavado con abrasivos Tratamiento con herramientas
<i>Otros</i>	Tratamientos mixtos Tratado con sal Oxidado Tubos de PVC Esferas de poliestireno expandido

#### 2.10.5.3. Concreto coloreado (pigmentos)

Los pigmentos son finas partículas de polvo, químicamente inertes e insolubles, que dotan de color al material al que se añaden. Deben ser insolubles, tanto al agua como a los agregados, además de inertes químicamente respecto al cemento, a los agregados, a los aditivos, resistentes a la intemperie, estables a la luz, a las temperaturas extremas y quedar firmemente embebidos con los finos del cemento cuando endurezca (Estañol, 2006).

Los pigmentos se clasifican en dos clases: obtenidos de manera natural y manufacturados de forma sintética.

#### 2.10.5.3.1. Forma natural

Son obtenidos en yacimientos naturales minerales, en su mayoría son de color ocre debido a la existencia de óxidos o hidróxidos metálicos, principalmente hierro. La tierra natural calcinada se tamiza hasta conseguir un tamaño uniforme de los granos y los fabricantes de dichos pigmentos deben garantizar que las partículas tengan una dimensión regular (Estañol, 2006).

#### 2.10.5.3.2. Forma sintética

Estos pigmentos son básicamente óxidos de hierro, cromo, cobalto y titanio. Se deben seleccionar óxidos técnicamente puros, sin aditivos ni constituyentes secundarios, de un gran poder colorante, cualidad que depende de la naturaleza y pureza, así como de su finura. Si bien estos pigmentos tienen el mismo origen mineralógico que los naturales, al ser obtenidos por procesos controlados y estandarizados, tienen la ventaja de otorgar alta pureza, elevado brillo y gran poder de coloración, estos pigmentos son estables a la intemperie, es decir a la luz UV, al ácido carbónico, a cambios fuertes en la humedad y la temperatura, a los ácidos, a los álcalis y a los componentes del cemento (Estañol, 2006).

## 3. Capítulo: Cascarilla de café como material alternativo

### 3.1. Generalidades

El pergamino de café o cascarilla es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano (fig. 2). Esta cascarilla constituye una excelente fuente de celulosa y lignina<sup>1</sup>, pentosanos, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción. En los países productores de café, los residuos y sub-productos del café constituyen una fuente de contaminación y generadora de problemas ambientales, por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se ha tratado de buscar métodos sobre cómo utilizarlos como materia prima para la producción de bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, proteína y abono (Coffea, 2005).

#### 3.1.1. Origen de la cascarilla de café utilizada en esta investigación

Para esta investigación se utilizó la fibra vegetal (cascarilla de café) de una de las regiones cafeteras del país, el departamento de Nariño, específicamente de ALMACAFÉ S.A. PASTO.

**Tabla 17:** Datos de la región de procedencia de la cascarilla de café (Café de Colombia, 2010)

<i>Procedencia</i>	Departamento de Nariño
<i>Área de cultivo</i>	Altitud: 1765 msnm promedio
<i>Temperatura promedio</i>	38,400 Hectáreas sembradas en Nariño
<i>Promedio Máximo</i>	19,9°C
<i>Promedio Mínimo</i>	25,9°C
<i>Precipitación media anual</i>	16°C
<i>Radiación solar</i>	1866 milímetros anual
	1666 horas promedio anual

#### 3.1.2. Proceso obtención de la cascarilla

El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio, de fuste recto que puede alcanzar los 10 metros en estado silvestre; en los cultivos se los mantiene normalmente en tamaño más reducido, alrededor de 3 metros. Las hojas son elípticas, oscuras y coriáceas.

El fruto es una drupa, que se desarrolla en unas 15 semanas a partir de la floración; el endospermo comienza a desarrollarse a partir de la duodécima semana, y acumulará materia sólida en el curso de varios meses, atrayendo casi la totalidad de la energía producida por la fotosíntesis.

#### 3.1.2.1. Recolección del café

En esta etapa se cosechan únicamente los granos que alcanzan el estado de madurez completa, normalmente de color rojo o amarillo, ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café. Todo este proceso se desarrolla de forma manual.

#### 3.1.2.2. Despulpado

El mismo día de la recolección, los granos de café se despulpan retirando la cereza del grano para que luego obtenga la fermentación: En esta parte del proceso, los granos permanecen en reposo.

#### 3.1.2.3. El lavado

En esta parte se retira con agua limpia los restos de mucílago que quedan en el grano y se eliminan azúcares.

#### 3.1.2.4. El secado

Se exponen los granos de café al calor del sol en un secadero para que el grado de humedad disminuya facilitando su conservación. El grano seco se almacena en sacos limpios elaborados en fique, facilitando su traslado.

**Ilustración 6:** *La transformación del fruto del cafeto en el proceso de beneficiado*



Fuente: Tomado de <http://www.mundocafeto.com/beneficiado/el-beneficio-humedo-del-cafe/>

### 3.1.2.5. Trillado artesanal

En En este proceso artesanal, se retira la cascarilla del grano llamado pergamino. Este procedimiento también puede desarrollarse de forma industrial (Omen, 2011).

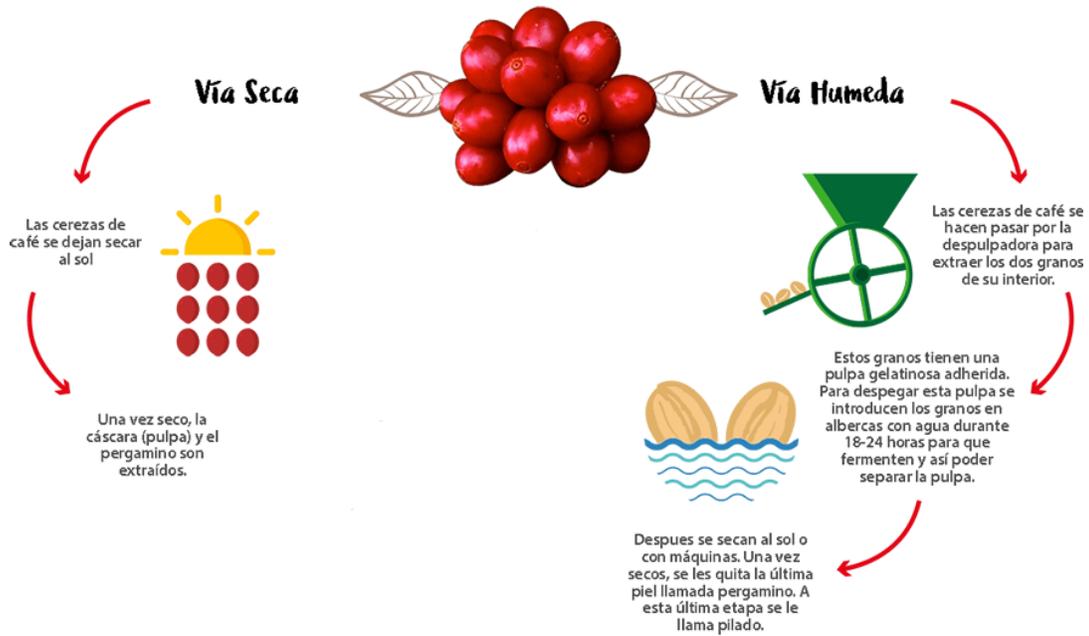
A partir del proceso de la trilla de café pergamino se retira mecánicamente la cascara (pergamino) que cubre la almendra de café (denominada cisco en la trilla), el pergamino ya limpio entra a la máquina trilladora, y es retirada por fricción la cascarilla, obteniéndose la almendra. El cisco que acompaña la almendra, al salir de la trilladora, es succionado mecánicamente; en esta operación se causa la merma por cisco. El monitor de pergamino, es una máquina cribadora compuesta por un conjunto de tres a cuatro mallas, una campana extractora de cisco y polvo residual.

La máquina trilladora está formada por un cilindro en forma hexagonal con superficie labrada, que gira dentro de un cilindro cóncavo estacionario y fraccionado en dos cámaras; en la primera cámara, la fricción elimina entre 60 y 70% de la cascarilla, luego pasa a la segunda cámara (cámara de retrilla) transportado por un elevador de cangilones donde termina de retirarle la cascarilla y pule la superficie de la almendra, eliminándole la cutícula (Mayorga, n.d.).

**Ilustración 7:** *Pelado de la cubierta del grano (cascarilla). (Autoría propia).*



**Ilustración 8: Obtención de la cascarilla**



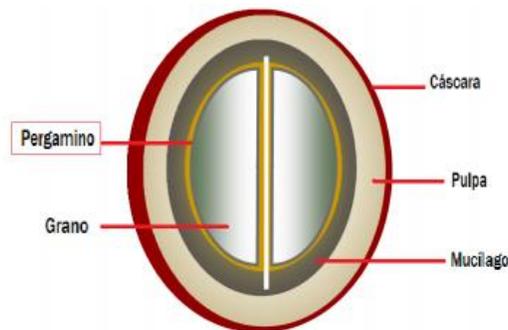
Fuente: Tomado de <https://www.coopronaranjorl.com/nuestro-cultivo/proceso-ciclo/>

## 3.2. Características fisicoquímicas de la cascarilla de café

### 3.2.1. Características físicas

El pergamino o cascarilla de café, es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca.

**Ilustración 9: Partes de un grano de café (Coffea, 2005).**



**Tabla 18:** Caracterización cascarilla de café (autoría propia)

<b>CASCARILLA DE CAFÉ</b>		
	<i>Masa unitaria suelta</i>	<i>Masa unitaria compacta</i> (peso 2716gr) molde 1/10 pie <sup>3</sup> .
<b>A</b>	284gr	334gr.
<b>B</b>	300gr	354gr.
<b>C</b>	310gr	344gr.
	MUS=298gr	MUC=344gr

MASA UNITARIA SUELTA: ..... 298gr/cm<sup>3</sup>)

MASA UNITARIA COMPACTA: ..... 344gr/cm<sup>3</sup>)

DENSIDAD APARENTE SECA: ..... 1,93gr/cm<sup>3</sup>

ABSORCIÓN: ..... 28,46% h

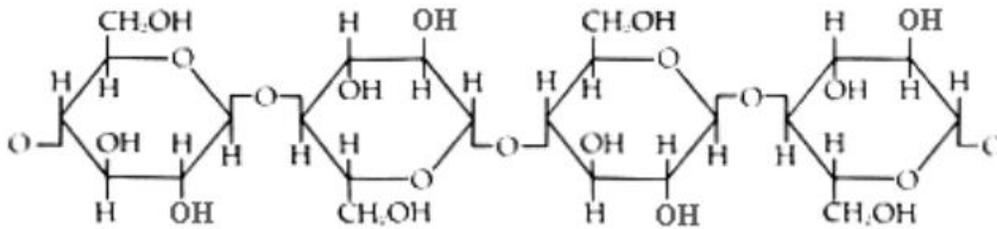
### 3.2.2. Composición química

**Tabla 19:** Composición química de la cascarilla de café. (García; & Olaya; 2011)

(Según Willboux (2)) (%)	Café Arábica* (%)	Café Robusta** (%)
Extracto etéreo	0.40	--
Proteínas totales	1.50	2.20
Celulosa bruta	50.20	60.20
Hemicelulosa	11.60	7.60
Azúcares	21.30	--
Pentosa	26.00	--
Cenizas	1.00	3.30
Silicio	15.70	--
Aluminio (Al 203)	3.40	--
Hierro (Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> )	13.60	
Calcio	19.60	--
Magnesio	12.20	--
Sodio	3.40	--
Potasio	18.00	--
Grasas	0.60	--

Estas propiedades la hacen óptima para utilizarla como agregado liviano en un hormigón, con el limitante de que tiene un contenido de azúcares muy alto (21.3%), que inhibe la reacción del cemento en la mezcla y por consiguiente retarda el fraguado, presentándose éste después de las 72 horas de fundida la mezcla. Este limitante se soluciona mineralizando la cascarilla (Garcia; & Olaya;, 2011).

**Ilustración 10:** Cadena de celulosa cristalina 5-10,000 unidades (unión de varias unidades de Glucosa)(Coffea, 2005)



A su vez, tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la rigidez necesaria. Las fibras en los vegetales están unidas entre sí, por un material cementante de carácter termoplástico, denominado lignina, localizada en la lámina media de las fibras, proporcionándole rigidez y resistencia al tejido vegetal.

### 3.3. Mineralización de la fibra (protección de la cascarilla de café)

Las fibras vegetales tienen dentro de su estructura componentes que son ricos en agua (lignina y hemicelulosa) lo cual al reforzar el material compuesto, puede generar deficiencias mecánicas. La razón principal para que la resistencia mecánica disminuya es que el agua es uno de los inhibidores naturales de la polimerización en las resinas de poliéster insaturado, por lo tanto la presencia de estos componentes es poco deseable dentro de la estructura de las fibras (Gomez, 2009).

Una forma de evitar o retardar la descomposición de las fibras utilizadas en el hormigón, es la protección de estas con sustancias bloqueadoras, sustancias repelentes al agua y con una mezcla de ambos tipos de sustancias (Gram, 1983).

### **3.3.1. Mineralización con aceite de linaza**

Procedimiento:

- a) Calentar aceite a 80°C
- b) Sumergir la fibra seca por 5 minutos
- c) Tener otro aceite a 24°C y pasar la cascarilla por 5min
- d) Repetir ciclo por 3 veces
- e) Dejar enfriar a T° ambiente durante 24h (Alvarado, 2002).

### **3.3.2. Mineralización con Hidróxido de calcio (básica):**

Procedimiento:

Las partículas o fibras de bagazo fueron inmersas en Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C. (Para darle una protección del medio alcalino de la pasta de cemento.) A partir de este procedimiento se obtiene como conclusión que: si se aumenta el tiempo de inmersión de cascara de arroz en la disolución básica, pasando de 24h a 72h, se observa un gran aumento en la resistencia a compresión (Saraz, Aristizabal, & Mejía, 2007).

### **3.3.3. Mineralización con Cal Agrícola**

Procedimiento:

Sumergir la cascarilla de café en su estado natural, tal como sale de la trilladora en una solución a/c al 5% en peso durante media hora con agitado constante, la proporción de la cascarilla es del 10% del peso de la solución. La cal limpia impurezas, protege del ataque microbiológico, protege del deterioro por la alta alcalinidad, mejora la adherencia (Garcia & Olaya, 2011).

### **3.4. Aplicación actual de la cascarilla de café**

En la ciudad de Medellín innovaron con la implementación de suelos a base de polietileno y cascarilla de café molida ya que el piso de madera actual estaba empezando a sufrir deterioro. Este nuevo elemento fue el resultado de las investigaciones que el Metro adelanta con el fin de obtener alternativas que garanticen la continuidad del servicio. Además de que estén siempre disponibles, disminuyan gastos, eviten las importaciones y sean amigables con el ambiente.

Jaime Pérez, jefe de Investigaciones del Metro, explicó que los trenes vienen con un tipo de madera especial, resistente al agua y al calor, pero esta no se obtiene en el país, su importación es costosa, y con su obtención se haría un significativo daño al ecosistema. Es por esta razón que el Metro, en colaboración con pymes y la Universidad de Antioquia, ha investigado, desde los años 80, con qué otros materiales puede ser reemplazada la madera y que tenga las mismas cualidades. Fue esto lo que llevo a explorar otro tipo de materiales y a encontrar en la cascarilla de café las particularidades necesarias para soportar el peso de los usuarios y cumplir con la normatividad internacional ferroviaria: no sufrir por humedad y no ser vulnerable a incendios y una reducción del 30% al impacto con el medio ambiente (Mejía, 2013).

El cisco, la cascarilla sobrante del café, es usado por un grupo de ingenieros mecánicos como materia prima para extruir perfiles de madera plástica y construir viviendas de interés social. El sector de la construcción necesita innovarse constantemente a través de proyectos cada vez más sostenibles y amigables con los recursos y la mezcla de polímeros con fibras provenientes de productos residuales como el aserrín (EE.UU.) o la cáscara de arroz (China) ha permitido en el mundo una alternativa a la madera, conocida como Wood Plastic Composite (WPC).

La agroindustria colombiana debía encontrar un producto vegetal que le permitiera ofrecer una alternativa al sector de la construcción y es allí cuando el grupo uniandino Materiales y Manufactura de Ingeniería Mecánica, liderado por el profesor Jorge Medina, encontró las características aplicables al cisco de café.

“Los Andes nos permitió trabajar con el cisco de café, que nos hace únicos, porque es el producto que representa a Colombia en el mundo y deberíamos integrarlo más a nuestra infraestructura.”. Las ventajas de haber utilizado el cisco de café fuera de darle un sello

colombiano al producto, es que este subproducto del café anteriormente no se le daba un manejo verde y se quemaba CO<sub>2</sub> o botaba (Positivo, 2015).

Estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá realizaron ensayos de concreto con agregado de cascarilla de café en el Departamento de Ingeniería Agrícola. Tomaron un material como el concreto para realizar la aplicación de residuos orgánicos provenientes de la agroindustria cafetera, haciendo pruebas y ensayos para determinar las propiedades físico-químicas de la cascarilla del café y su comportamiento junto al concreto. Llegaron a la conclusión que como material mineralizante es más económico el cemento que la cal agrícola, además de que se obtiene mejores resistencias a la compresión en el hormigón cuando se utiliza cemento, en las mismas condiciones que cal; también concluyeron que la cascarilla de café es un buen aislante térmico (García & Olaya, 2011).

Aún no se han realizado aplicaciones, como tal, de los resultados obtenidos de investigaciones donde se utiliza a la fibra vegetal, cascarilla de café, como reemplazo en la mezcla de concreto.

## 4. Capítulo: Materiales y método

### 4.1. Metodología de la investigación

#### 4.1.1. Línea investigativa

En este proyecto se realizaron y analizaron los siguientes ensayos:

- Resistencia a la compresión
- Módulo de rotura
- Sortividad
- Asentamiento

Los ensayos que se practicaron en especímenes de concreto normal y con adición de la fibra vegetal (cascarilla de café) para esta investigación, la cascarilla sería el reemplazo en diferentes porcentajes, del peso del agregado grueso de la siguiente manera:

*Tabla 20: Esquema experimental (autoría propia).*

<i>VARIABLE</i>	<i>PORCENTAJE</i>	<i>MINERALIZACIÓN</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>
<i>Mezcla patrón</i>	-	-	CP-0
	0,5%	CAL AGRÍCOLA	CFC-05
	1,0%		CFC-10
	1,5%		CFC-15
	0,5%	LINAZA	CFL-05
<i>Cascarilla de café (Fibra vegetal)</i>	1,0%		CFL-10
	1,5%		CFL-15
	0,5%	HIDRÓXIDO DE CALCIO	CFH-05
	1,0%		CFH-10
	1,5%		CFH-15

**Denominación:**

CP-0 = Concreto patrón

CFC = Concreto con Fibra vegetal - mineralización Cal Agrícola

CFL = Concreto con Fibra Vegetal - mineralización aceite de Linaza

CFH = Concreto con fibra vegetal - mineralización con Hidróxido de Calcio

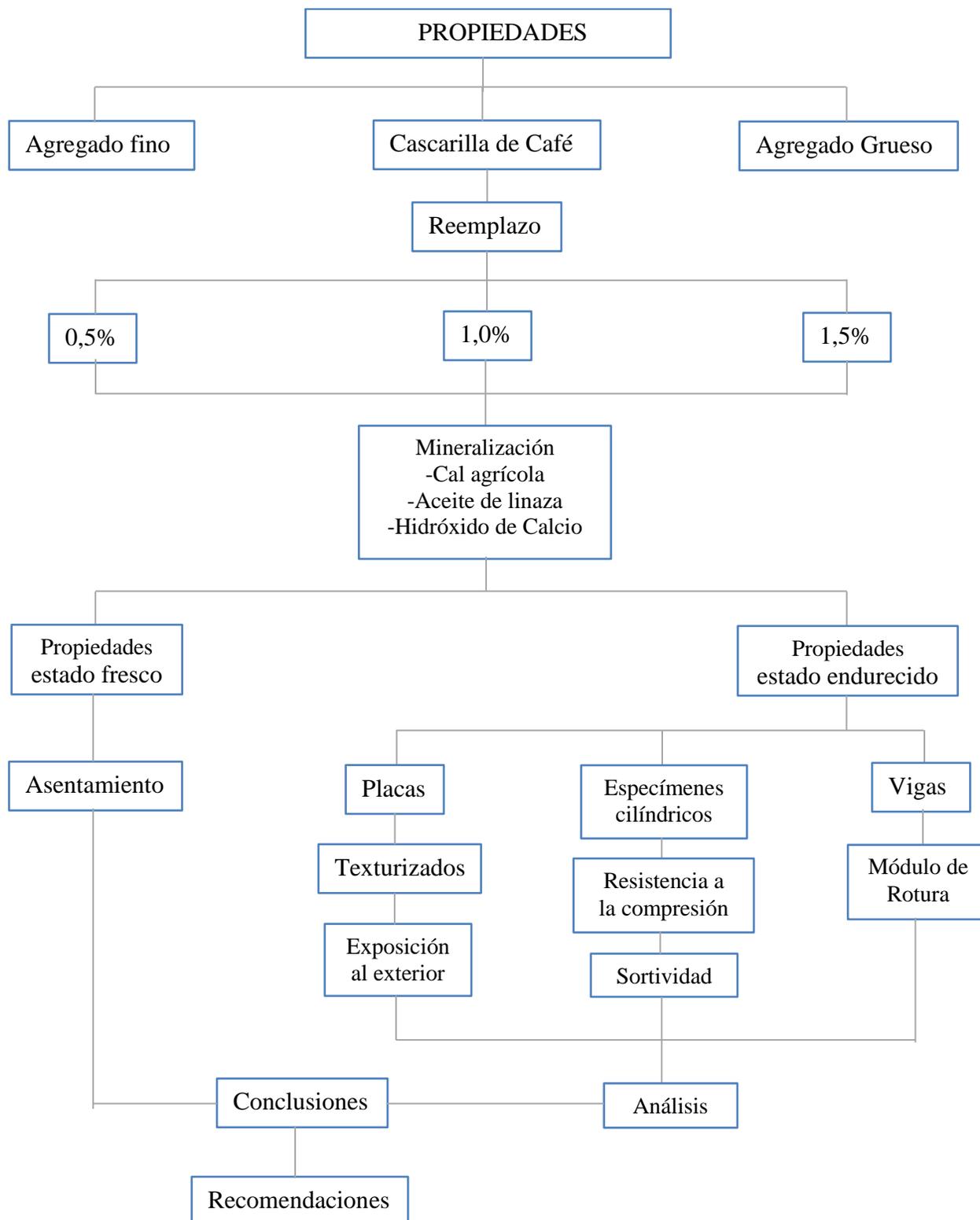
-05 = Porcentaje de reemplazo 0,5%

-10 = Porcentaje de reemplazo 1,0%

-15 = Porcentaje de reemplazo 1,5%

Se elaboraron placas de concreto con el fin de analizar su comportamiento ante agentes externos como lluvia, sol, aire, vegetación y se realizaron probetas cilíndricas y vigas con y sin adición de la cascarilla para ser evaluadas a los 28 días.

Ilustración 11: Esquema de la investigación (autoría propia).



## 4.1.2. Materiales

### 4.1.2.1. Materiales.

- **Cemento:** El cemento utilizado para este diseño es Cemento Gris de Uso General producido por Cementos Argos S.A. Cumplen con los valores de la norma colombiana NTC 121 y 321.(Argos, 2013)

**Tabla 21:** *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (Argos, 2013)*

<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>	<b>Especificaciones argos</b>	<b>NTC 321 Tipo I</b>	<b>ASTM C-1157 TIPO GU.</b>
Fraguado inicial , mínimo (minutos)	45	45	45
Fraguado final , máximo (minutos)	420	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0,8	0,8	0,8
Expansión en agua, máximo (%)	0,2	--	0,2
Resistencia a 28 días , mínimo (Mpa)	26.0	24.0	28.0

- **Agua:** para el procedimiento se utilizó agua proveniente de la red de abastecimiento de agua potable de la Empresa ACUEDUCTO AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.
- **Agregados:** los agregados fino y grueso son traídos desde el municipio del Guamo, Tolima.
- **Fibra Vegetal (cascarilla de café):** esta fibra proviene del grano de la planta cafeto (*Coffea*), lo que se denomina como “cascarilla de café”, también conocido como cisco, o residuo de la extracción del grano de café, resultado de un proceso denominado trilla

## 4.1.3. Población y muestras

### 4.1.3.1. Población placas.

Placas cuadradas en concreto convencional y reforzados con Cascarilla de café, en porcentajes de 0,5%, 1,0% y 1,5%, a su vez aplicando a la cascarilla el debido tratamiento de protección.

## **Muestra.**

Estuvo constituida por 20 placas de concreto, placas cuadradas de aproximadamente 30x30cm en concreto normal y reemplazo de agregado grueso por cascarilla de café. En este caso se adiciono pigmento de color amarillo.

Se diseñaron 5 tipos de formaletas para aplicar diferentes texturas para prueba de adherencia a los patrones de diseño arquitectónico y exposición a los factores externos como lluvia, sol, vegetación. Las placas se repartieron de la siguiente manera:

- 5 placas con 0% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, las cuales fueron evaluadas ante los patrones de textura después del desmolde y dejadas en el exterior del laboratorio durante 3 meses.
- 5 placas con 0,5% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, las cuales fueron evaluadas ante los patrones de textura después del desmolde y dejadas en el exterior del laboratorio durante 3 meses.
- 5 placas con 1,0% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, las cuales fueron evaluadas ante los patrones de textura después del desmolde y dejadas en el exterior del laboratorio durante 3 meses.
- 5 placas con 1,5% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, las cuales fueron evaluadas ante los patrones de textura después del desmolde y dejadas en el exterior del laboratorio durante 3 meses.

### 4.1.3.2. Población especímenes cilíndricos.

Se realizaron especímenes cilíndricos en concreto normal y reforzados con cascarilla de café, en porcentajes de 0,5%, 1,0% y 1,5%, a su vez aplicando a la cascarilla el debido tratamiento de protección.

Para la prueba de compresión y absorción se elaboraron un total de 58 especímenes cilíndricos, con y sin fibra vegetal.

Los cilindros se repartieron de la siguiente manera:

- 4 probetas cilíndricas con 0% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, 2 para compresión se fallaron a los 28 días y 2 para sortividad inicial que va en un periodo desde 1 minuto hasta las 6 horas.
- 6 probetas cilíndricas con 0,5% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, 3 para compresión se fallaron a los 28 días y 3 para sortividad inicial que va en un periodo desde 1 minuto hasta las 6 horas.
- 6 probetas cilíndricas con 1,0% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, 3 para compresión se fallaron a los 28 días y 3 para sortividad inicial que va en un periodo desde 1 minuto hasta las 6 horas.
- 6 probetas cilíndricas con 1,5% de reemplazo de fibra vegetal (cascarilla de café) por agregado grueso, 3 para compresión se fallaron a los 28 días y 3 para sortividad inicial que va en un periodo desde 1 minuto hasta las 6 horas.

Para la definición de la cantidad de especímenes para las muestras, se tomó como referencia lo estipulado en la norma ASTM C-192 "Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio", en la que se propone como cantidad de moldeados tres o más especímenes para cada edad de ensayo.

## 4.2. Caracterización de los áridos

En un metro cúbico de mezcla de concreto podemos tener un promedio de agregados, fino y grueso, en un 70%. Es importante la valoración de las propiedades de los agregados al momento del diseño de la mezcla ya que pueden afectar las características del concreto final, para esto se tendrá en cuenta:

- Manejabilidad
- Durabilidad
- Factores económicos

### Agregado grueso

**Tabla 22:** Caracterización agregado grueso (autoría propia).

<b>AGREGADO GRUESO</b>		
<i>Grava 3/8 ó filtro</i>	<i>Masa unitaria suelta</i>	<i>Masa unitaria compacta (peso 1/2 pie cubico) molde 11435gr.</i>
A	1856,5gr	2056,5gr.
B	1956,5gr	2006,5gr.
C	1956,5gr	2056,5gr.
	MUS=1923,1gr	MUC=2040gr

**Tabla 23:** Caracterización agregado grueso pesos (autoría propia).

	<i>Peso SSS</i>	<i>Peso sumergido</i>	<i>Peso seco</i>	<i>Lavado tamiz (horno05°x24h)</i>	<i>Humedad natural</i>
<i>Peso inicial</i>	5000gr	4764gr	4764gr	5000gr	2000gr
<i>Peso final</i>	4764gr	2910gr	4544gr	4798gr	1944gr

MASA UNITARIA SUELTA: .....779,6gr/cm3)

MASA UNITARIA COMPACTA: .....896,3gr/cm3)

DENSIDAD APARENTE SECA: ..... 2,56gr/cm3

ABSORCIÓN: ..... 4,84% h

HUMEDAD NATURAL: ..... 2,88%

FORMA: ..... Redondeada (grava de río)

## Agregado fino.

**Tabla 24:** Caracterización agregado fino (autoría propia).

<b>AGREGADO FINO</b>		
	<i>Masa unitaria suelta</i>	<i>Masa unitaria apisonada</i>
A	1580gr.	2024gr.
B	1630gr.	2058gr.
C	1612gr.	2041gr.
	MUS= 1610g	MUA=2041gr

**Tabla 25:** Caracterización agregado fino peso (autoría propia).

	<i>Peso seco</i>	<i>Lavado tamiz (horno 105°x24h)</i>	<i>Humedad natural</i>
<i>Peso inicial</i>	1350gr	5000gr	1500gr
<i>Peso final</i>	1335gr	4860gr	1486gr

MASA UNITARIA SUELTA:.....1610gr/cm<sup>3</sup>)

MASA UNITARIA COMPACTA: .....2041gr/cm<sup>3</sup>)

DENSIDAD APARENTE SECA: ..... 2,61gr/cm<sup>3</sup>

ABSORCIÓN: ..... 2,98% h

HUMEDAD NATURAL: ..... 0,94%

### 4.2.1. Análisis Granulométrico

En análisis granulométrico tanto del agregado fino como del agregado grueso, se desarrolló en base a la NTC 174 y se realizó al iniciar con cada una de las mezclas. De acuerdo con la literatura estudiada, la cascarilla de café como agregado vegetal debe tener un previo tratamiento para así evitar que el medio alcalino al cual se expone en la mezcla no la deteriore impidiendo así su finalidad en el concreto; para ello se emplean 3 diferentes tratamientos, aceite de linaza, hidróxido de calcio y cal agrícola para tratar estas fibras y así aumentar su durabilidad.

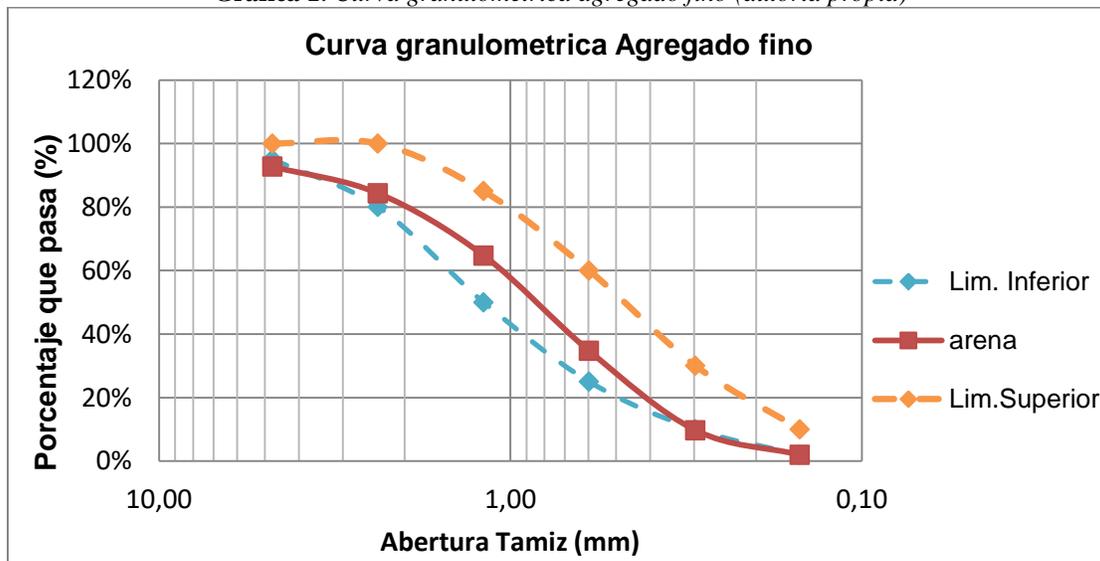
#### 4.2.1.1. Agregado Fino

El agregado fino, es arena de río del departamento del Tolima traída por la empresa “Ferretería el Campín”, de acuerdo al análisis granulométrico el módulo de finura de este agregado es de 3.1 y su ubica dentro y al límite del rango permitido por la norma NTC 174, donde se aclara que el modulo no puede ser mayor a 3.1.

**Tabla 26:** Granulometría agregado fino (autoría propia)

	<b>Tamiz #</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
<b>Agregado fino</b>	3/8"	0	0	0	100%
	4	354	7.29%	7.29%	92.71%
	8	408	8.39%	15.68%	84.32%
	16	952	19.59%	35.27%	64.73%
	30	1460	30.04%	65.31%	34.69%
	50	1215	25.00%	90.31%	9.69%
	100	375	7.71%	98.02%	1.98%
	Fondo	96.6	1.98%	100.00%	-
	Σ	4860,6	100.00%		

**Gráfica 1:** Curva granulométrica agregado fino (autoría propia)



<b>Módulo de finura</b>	3.10
-------------------------	------

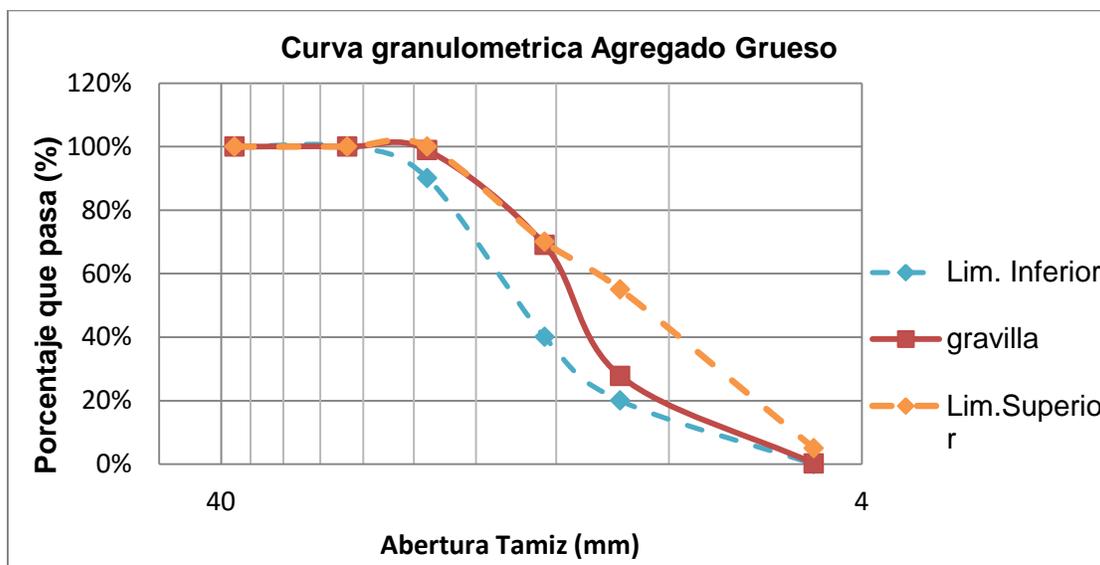
#### 4.2.1.2. Agregado Grueso

El agregado grueso, está compuesto por gravilla de río del departamento del Tolima comercializada por la empresa “Ferretería el Campin”.

**Tabla 27:** Granulometría agregado grueso (autoría propia)

<b>Agregado Grueso</b>	<b>Tamiz #</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
	1½”	-	0	0	100%
	1” TM	-	0,00%	0,00%	100%
	¾”TMN	56	1,17%	1,17%	98,83%
	½”	1432	29,85%	31,01%	68,99%
	3/8”	1988	41,23%	72,24%	27,76%
	# 4	1322	27,55%	99,79%	0,21%
	Σ	4798	100,00%		

**Gráfica 2:** Curva granulométrica agregado grueso (autoría propia)



<b>Módulo de finura</b>	6.04
-------------------------	------

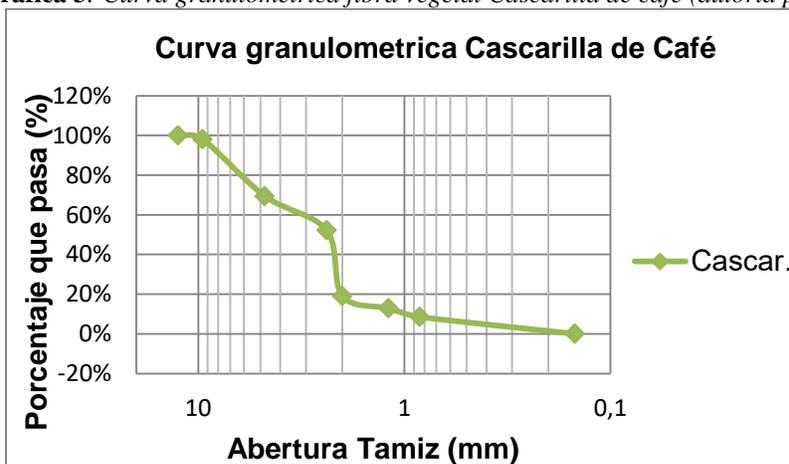
#### 4.2.1.3. Fibra vegetal Cascarilla de café

La fibra vegetal, producto de la industria cafetera, es el agregado reciclado procedente de la zona cafetera nariñense del país. De acuerdo con el análisis granulométrico, el módulo de finura es de 3,4 ubicándose por encima del rango permitido por la norma NTC 174 que determina como rango máximo 3.1 para el agregado fino. No obstante, aún cuando el material es calificado por la norma como un agregado de tamaño grueso, esta fibra no es un agregado convencional por lo que se toma únicamente como referencia para compararlo con los demás agregados.

**Tabla 28:** Granulometría Cascarilla de café (autoriza propia)

	<i>Tamiz #</i>	<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% Que pasa</i>
<i>Cascarilla de café</i>	3/8"	0	0,00%	0,00%	100%
	# 4	3,8	1,90%	1,90%	98,10%
	# 8	57,4	28,70%	30,60%	69,40%
	# 10	34,5	17,25%	47,85%	52,15%
	#16	66,2	33,10%	80,95%	19,05%
	#20	12,3	6,15%	87,10%	12,90%
	#100	8,7	4,35%	91,45%	8,55%
	Fondo	17,1	8,55%	100%	0,00%
	Σ	200	100%		

**Gráfica 3:** Curva granulométrica fibra vegetal Cascarilla de café (autoría propia).



<b>Módulo de finura</b>	3,40
-------------------------	------

### 4.3. Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se toma como referente el procedimiento planteado por Diego Sánchez de Guzmán en su libro “Tecnología del Concreto”.

#### 4.3.1. Selección del Asentamiento

**Tabla 29:** Selección del asentamiento (Guzmán, 2001).

<i>CONSISTENCIA</i>	<i>ASENTAMIENTO</i>	<i>EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN</i>	<i>SISTEMA DE COLOCACIÓN</i>	<i>SISTEMA DE COMPACTACIÓN</i>
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadoras manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración

#### 4.3.2. Selección del tamaño máximo del agregado

**Tabla 30:** Selección del tamaño máximo del agregado (Guzmán, 2001).

<i>TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN</i>				
<i>Dimensión mínima de la sección (cm)</i>	<i>Tamaño máximo en pulg. (mm)</i>			
	Muros reforzados y vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Lozas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	½”(12)-¾”(19)	¾”(19)	¾”(19)-1”(25)	¾”(19)-1¾”(25)
19 – 29	¾”(19)-1½”(38)	1½”(38)	1½”(38)	1½”(38)-3”(76)
30 – 74	1½”(38)-3”(76)	3”(76)	1½”(38)-3”(76)	3”(76)
75 o más		6”(152)	1½”(38)-3”(76)	3”(76)-6”(152)

### 4.3.3. Estimación del contenido de aire

Tabla 31: Estimación del contenido de aire (Guzmán, 2001).

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CONTENIDO DE AIRE EN PORCENTAJE (POR VOLUMEN)			
mm	Pulg.	Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
12.7	½	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	¾	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1½	1.0	2.5	4.5	5.5

### 4.3.4. Requerimiento de agua de mezclado

Tabla 32: Requerimiento de agua de mezclado en concreto con aire incluido (Guzmán, 2001).

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en kg/m <sup>3</sup> de concreto							
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134

### 4.3.5. Resistencia requerida de diseño

Tabla 33: Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar

Resistencia especificada $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño de la mezcla $f'cr$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c + 70\text{kg/cm}^2$
De 210 kg/cm <sup>2</sup> a 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c + 85\text{kg/cm}^2$
Más de 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'c + 100\text{kg/cm}^2$

$$f'c = f'c + 70\text{kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 + 70\text{kg/cm}^2$$

$$f'c = 280\text{kg/cm}^2$$

### 4.3.6. Relación agua-cemento

**Tabla 34:** Dependencia de la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto (adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3)

<b>RELACIÓN A/C DE DISEÑO EN PESO</b>		
<b><i>F'c (28 días)</i></b>	<b><i>Concreto sin aire incorporado</i></b>	<b><i>Concreto con aire incorporado</i></b>
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	---
450	0.38	---

En esta investigación la relación agua-cemento corresponde a 0.50 teniendo en cuenta que la resistencia de diseño es de 280kg/cm<sup>2</sup>.

#### Cálculo del contenido de cemento

Una vez que el contenido de agua de mezclado y la relación agua-cemento han sido determinados, el contenido de cemento por metro cubico de concreto establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua-cemento:

$$A/C = \text{Relación agua-cemento, por peso.} \quad C = \frac{148\text{kg3}}{0.50} = 368\text{kg/m3}$$

### 4.3.7. Definición de datos

**Tabla 35:** Datos para diseño de mezcla (autoria propia)

<b><i>ENSAYO</i></b>	<b><i>AGREGADO GRUESO</i></b>	<b><i>AGREGADO FINO</i></b>
Masa unitaria compacta MUC (k/m <sup>3</sup> )/ <i>Compact Unit massCMU</i>	6,523	1,926
Masa unitaria suelta MUS (k/m <sup>3</sup> )/ <i>looseUnite Mass (k/m3)</i>	5,194	1,492
Densidad aparente seca	2,56	1,61
Absorción (%)/ <i>Absorption (%)</i>	2,84	29,87
Humedad Natural/ <i>Natural Moisture</i>	2,88	0,94
Módulo de finura/ <i>Fineness Modulus</i>	..	3,11
Forma/ <i>Form</i>	redondeada	

**Tabla 36:** *Peso y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto (autoría propia)*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>PESO SECO KG/M3</b>	<b>PESO ESPECÍFICO K/M3</b>	<b>VOLUMEN ABSOLUTO L/M3</b>
Cemento	368	3100	0,118
Agua	184	1000	0,184
Contenido de aire			0,02
Agregado grueso	885	2560	0,34
Agregado fino	861	2610	0,33
Total	2298		0,992

**Tabla 37:** *Cantidades de diseño de mezcla (autoría propia)*

<b>MATERIALES</b>	<b>Cantidad</b>	<b>UN</b>
Cemento de uso general	368	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>
Agregado fino	861	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>
Agregado grueso	885	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>
Agua	184	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>

#### 4.4. Variables y porcentajes de reemplazo del diseño de mezcla

De acuerdo al diseño de mezcla ya establecido, se sustituye la fibra vegetal (cascarilla de café) por el agregado grueso en proporciones de 0,5, 1,0, y 1,5%, porcentajes que son sometidos a un tratamiento previo (aceite de linaza, hidróxido de calcio, cal agrícola). Para cada tratamiento se efectuaron los tres porcentajes de reemplazo con el fin de proteger la fibra del medio alcalino.

**Tabla 38:** *Valores de los porcentajes de reemplazo (autoría propia)*

<b>MEZCLA 1 (CFV-05):</b> <i>99,5%Agregado pétreo + 0,5% agregado vegetal</i>	<b>MEZCLA 2 (CFV-10):</b> <i>99%Agregado pétreo + 1,0% agregado vegetal</i>	<b>MEZCLA 3 (CFV-15):</b> <i>98,5%Agregado pétreo + 1,5% agregado vegetal</i>
$0,00173 * 1930 = \mathbf{3,339}$	$0,00346 * 1930 = \mathbf{6,678}$	$0,00518 * 1930 = \mathbf{9,997}$

(1930 Densidad cascarilla).

## 5. Capítulo: Ensayos y resultados

### 5.1. Elaboración de placas con estampado, textura y pigmentación.

De acuerdo a las variables determinadas, con respecto a los pesos específicos de cada agregado y al tratamiento que se hace a la cascarilla de café, previo a la ejecución de la mezcla, se realizaron 9 variables.

Se diseñaron y elaboraron 16 formaletas en madera contrachapada de 9mm (ficha técnica ANEXO 1) para la experimentación ante acabados y pigmentación de una de las variables de mezcla. Para conocer la adaptabilidad en el encofrado, se determinó escoger la mezcla con mayor porcentaje de reemplazo de cascarilla de café, con el fin de analizar su comportamiento ante los diseños propuestos de formaleta. De igual manera, para evaluar la asimilación del pigmento y su reacción ante las 3 variables de mineralización de la cascarilla de café (el cemento seleccionado es blanco).

*Dimensiones de las formaletas:*

$$0,27 * 0,27 * 0,035 = 0,00315 * 1,10 \text{ (desperdicio)} = 0,0035$$

Los acabados fueron los siguientes:

- Acabado liso
- Esferas de poliestireno expandido +PVC
- Acabado con hojas naturales
- Estampado

**Tabla 39:** Mineralización reemplazo 1.5% y acabados (autoría propia).

<b>MINERALIZACIÓN CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.5%</b>		
Aceite de linaza	Acabado liso Esferas de poliestireno expandido +PVC Acabado con hojas naturales Estampado	CVL-15
Hidróxido de Calcio	Acabado liso Esferas de poliestireno expandido +PVC Acabado con hojas naturales Estampado	CVH-15
Cal	Acabado liso Esferas de poliestireno expandido +PVC Acabado con hojas naturales Estampado	CVC-15
Mezcla patrón	Acabado liso Esferas de poliestireno expandido +PVC Acabado con hojas naturales Estampado	CVP

Las proporciones para la mezcla, se resumen en la tabla 40, con el fin de preparar las cantidades necesarias para una formaleta de 0,27 \* 0,27 \* 0,035, las cuales son utilizadas para probar comportamiento, reacción y posibles variables ante condiciones climáticas externas como: luz directa del sol, lluvia, agentes contaminantes y vegetación.

**Tabla 40:** Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5% (autoría propia)

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.5%</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Cantidad para placas</b>
Cemento	368	1,288
Agua	184	0,644
Grava	872,5	3,053
Arena	861	3,013
Reemplazo fibra	9,997	0,035

Previamente a la ejecución de la mezcla se mineralizo la cascarilla de café, se pesaron los agregados y se marcaron las formaletas con su nomenclatura correspondiente para su identificación. Se verificó el debido cerramiento de las formaletas, los elementos necesarios para los acabados a realizar y se aplicó desmoldante (aceite vegetal).

**Ilustración 12: Mineralización de la cascarilla (autoría propia)**



**II. 12a:** Mineralización aceite de linaza  
5min 80°C – 5min 24° (Proceso 3 veces)



**II. 12b:** Secado 24h mineralización linaza



**II. 12c:** Mineralización Hidróxido de calcio  
sumergido 24h.



**II. 12d:** Mineralización Cal agrícola  
agitación constante 30min.

Posterior a la elaboración de la mezcla, se procedió al llenado de formaletas previamente aceitadas y marcadas y se desencofraron a las 24 horas de mezclado.

**Ilustración 13: Llenado de formaletas (autoría propia)**



Siendo este un ensayo para establecer cuáles serían las reacciones físicas y no mecánicas de estas placas, a través de características como pigmentación y acabados, continuo al desencofrado, se ubicaron en una superficie plana en el patio del edificio SINDU, rodeada de hierba donde estuvieron expuestas a las diferentes condiciones ambientales durante un periodo de 3 meses.

**Ilustración 14:** *Colocación de placas a la intemperie, parte trasera patio SINDU (autoría propia)*



**II. 14 a.** Placas con luz directa día – sol (autoría propia).

**Tabla 41:** Resultado placas mezcla patrón (autoría propia).

<b>PLACAS DISEÑO MEZCLA PATRÓN CP</b>			
<b>Desmolde 24 horas</b>			
Acabado liso	Esferas de poliestireno expandido +PVC	Acabado con hojas naturales	Estampado
			
<b>Exposición a la intemperie. Periodo: 3 meses</b>			
			
<p>Las cuatro placas presentan una alta presencia de poros, debido a que en el proceso de llenado de las formaletas no se realizó el respectivo vibrado para poder evitar las burbujas y sacar el aire contenido en la mezcla. Sin embargo, la mezcla se adaptó a cada uno de los patrones de diseño por cada formaleta, incluso, copiando las vetas de la madera del molde.</p> <p>Transcurrido este tiempo no se presenta un cambio significativo con respecto a su textura y color.</p>			

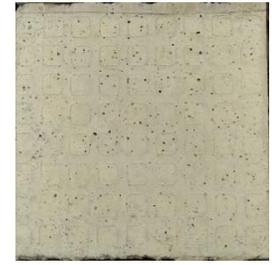
**Tabla 42:** Resultado placas mezcla tratamiento con aceite de linaza (autoría propia).

<b>PLACAS DISEÑO MEZCLA ACEITE DE LINAZA 1.5% CFL-15</b>			
<b>Desmolde 24 horas</b>			
Acabado liso	Esferas de poliestireno expandido +PVC	Acabado con hojas naturales	Estampado
			
<b>Exposición a la intemperie. Periodo: 3 meses</b>			
			
<p>Las cuatro placas presentan una alta presencia de poros, debido a que en el proceso de llenado de las formaletas no se realizo el respectivo vibrado para poder evitar las burbujas y sacar el aire contenido en la mezcla. Sin embargo, la mezcla se adapato a cada uno de los patrones de diseño por cada formaleta, incluso, copiando las vetas de la madera del molde.</p> <p>El patron de acabado con <i>hojas naturales</i>, se considero desde un principio que quizás no se tendria el mejor resultado, pero se obtuvo una muy buena adaptabilidad y aspecto.</p> <p>Transcurrido este tiempo no se presenta un cambio significativo con respecto a su textura y color.</p> <p>Esta mezcla permite que las particulas se resalten y puedan ser vistas con facilidad, dandole un aspecto particular. Se puede considerar, que el aceite repela los demas materiales dejandose esta a la vista y le deun efecto especial visualmente.</p> <p>Con respecto al color, por ser una mezcla a mano, no se logra total homogeneidad, sin embargo se puede notar que el material de las formaletas influyo a esta caracteristica.</p>			

**Tabla 43:** Resultado placas mezcla con hidróxido de calcio (autoría propia).

<b>PLACAS DISEÑO MEZCLA HIDRÓXIDO DE CALCIO 1.5% CFH-15</b>			
<i>Desmolde 24 horas</i>			
Acabado liso	Esferas de poliestireno expandido +PVC	Acabado con hojas naturales	Estampado
			
<i>Exposición a la intemperie. Periodo: 3 meses</i>			
			
<p>Las cuatro placas presentan una alta presencia de poros, debido a que en el proceso de llenado de las formaletas no se realizo el respectivo vibrado para poder evitar las burbujas y sacar el aire contenido en la mezcla. Sin embargo, la mezcla se adapato a cada uno de los patrones de diseño por cada formaleta, incluso, copiando las vetas de la madera del molde.</p> <p>Transcurrido este tiempo no se presenta un cambio significativo con respecto a su textura y color.</p> <p>A diferencia de las placas con tratamiento a la fibra con aceite de linaza, en este tratamiento con hidróxido de calcio, no se logra ver con facilidad las partículas, estas quedan confundidas en la mezcla.</p> <p>Con respecto al color, puede considerarse que al hacer el uso de esta mineralizacion a la cascarilla de café, no sea homogéneo el color dejandose a la vista zonas con mayor concentración y otras con menor concentración.</p>			

**Tabla 44:** Resultado placas mezcla patrón (autoría propia).

<b>PLACAS DISEÑO MEZCLA CAL 1.5% CFC-15</b>			
<i>Desmolde 24 horas</i>			
Acabado liso	Esferas de poliestireno expandido +PVC	Acabado con hojas naturales	Estampado
			
<i>Exposición a la intemperie. Periodo: 3 meses</i>			
			
<p>Las cuatro placas presentan una alta presencia de poros, debido a que en el proceso de llenado de las formaletas no se realizó el respectivo vibrado para poder evitar las burbujas y sacar el aire contenido en la mezcla. Sin embargo, la mezcla se adaptó a cada uno de los patrones de diseño por cada formaleta, incluso, copiando las vetas de la madera del molde, a excepción del diseño con tubos de pvc por inadecuada manipulación al desmolde.</p> <p>Transcurrido este tiempo no se presenta un cambio significativo con respecto a su textura y color. Al igual que con el tratamiento de hidróxido de calcio, este tratamiento con cal agrícola, evita que las partículas queden a la vista con facilidad, y por el contrario, sean recubiertas y mimetizadas en la mezcla, perdiendo el efecto visual interesante que si logra el tratamiento con aceite de linaza.</p> <p>Con respecto al color, por ser una mezcla a mano, no se logra total homogeneidad, sin embargo se puede notar que el material de las formaletas influyo a esta característica.</p>			

## 5.2. Ensayo de Asentamiento

### 5.2.1. Características de la mezcla en estado fresco

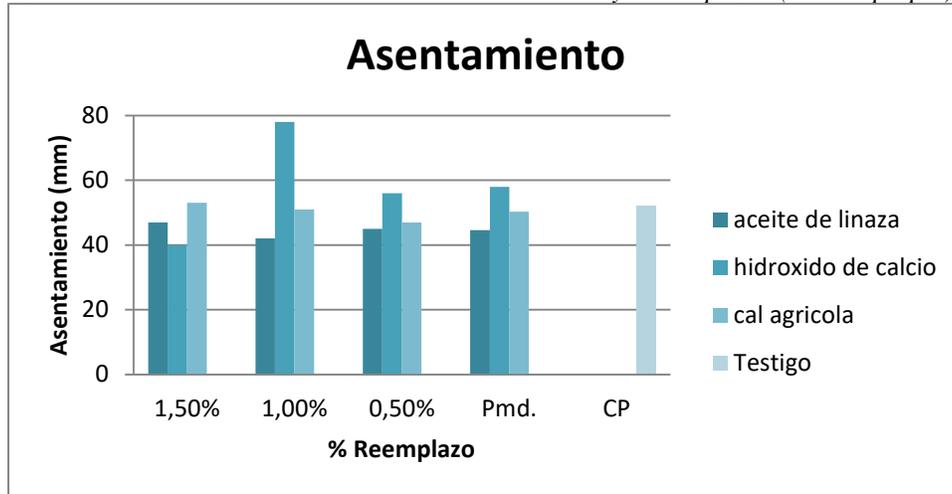
Según la literatura, la fibra vegetal es un material no convencional con algunos usos tanto nacionales como internacionales. A partir de estos antecedentes, se inicia el proceso de experimentación del diseño de mezcla con esta fibra, que previamente fue mineralizada con tres componentes diferentes (aceite de linaza, cal agrícola, hidróxido de calcio), a la cual se tomó el asentamiento en sus tres diferentes tratamientos para así identificar características como trabajabilidad, consistencia, homogeneidad y segregación.

La ejecución de la mezcla se realizó bajo los parámetros de la norma NTC 5171 y expuesta a cielo abierto en el patio del edificio SINDU de la Universidad Nacional.

**Tabla 45:** Resultados asentamientos de las 3 variables y %reemplazos (autoría propia).

<b>ENSAYO DE ASENTAMIENTO</b>			
<b>Tratamiento fibra</b>	<b>Muestra</b>	<b>% Reemplazo</b>	<b>Asentamiento obtenido</b>
<i>Aceite de Linaza</i>	CFL-15	1,5%	47mm
	CFL-10	1,0%	42mm
	CFL-05	0,5%	45mm
<i>Hidróxido de Calcio</i>	CFH-15	1,5%	40mm
	CFH-10	1,0%	78mm
	CFH-05	0,5%	56mm
<i>Cal Agrícola</i>	CFC-15	1,5%	53mm
	CFC-10	1,0%	51mm
	CFC-05	0,5%	47mm
<i>Mezcla Patrón (Testigo)</i>	CP	--	53mm

**Gráfica 4:** Resultados asentamientos de las 3 variables y %reemplazos (autoría propia).



#### 5.2.1.1. Trabajabilidad

Durante la ejecución de las mezclas se apreció una muy leve dificultad para la manipulación de estas considerando que se llevaría con mayor rigurosidad los pasos de la norma para poder hacer la medición de la prueba de Abrams y continua fundición de probetas. Con respecto a los tratamientos previos efectuados en la cascarilla de café, no incidieron notablemente en la manipulación de la mezcla ni en el porcentaje de reemplazo por agregado grueso.

#### 5.2.1.2. Consistencia

Se hace uso del cono de Abrams o ensayo de “slump” para determinar el comportamiento del concreto fresco y así determinar trabajabilidad y consistencia de acuerdo a la NTC 396.

**Ilustración 15:** Ensayo de asentamiento (autoría propia).



**II. 3a.** División dela mezcla en 3 partes



**II. 3b.** Llenado del cono



**II. 3c.** Medición del asentamiento

Se determina que la consistencia de mezcla es media (plástica) lo que se había determinado para el diseño, a excepción de la mezcla, que lleva la fibra con tratamiento aceite de linaza, el asentamiento se presenta de manera levemente menor. Puede considerarse una mezcla “normal”, el concreto no sufre grandes deformaciones ni hay separación de elementos.

#### 5.2.1.3. Homogeneidad

Se procedió inicialmente a la incorporación de los materiales fino, grueso y cemento, después de integrar los materiales entre sí, el siguiente paso fue el vaciado de agua por partes para ir teniendo una mezcla homogénea. Terminado la unificación de todos los materiales se adicione la fibra, previamente tratada, las partículas de la cascarilla de café se incorporaron sin ninguna muestra aparente de dificultad por lo tanto no hubo segregación de los componentes de la mezcla.

**Ilustración 16:** *Mezcla en patio (autoría propia).*



**II. 16a.** Incorporación de la fibra a la mezcla



**II. 16b.** Homogeneidad de la mezcla

### 5.3. Ensayo de compresión

Para la comprobación de resistencia a compresión, las pruebas se llevaron a cabo en especímenes cilíndricos de 10cm de diámetro x 30cm de longitud. Todos los especímenes se desencofraron a las 24 horas de mezclado, se marcaron y fueron curados por un periodo de 28 días por el método de inmersión en agua potable, con el fin de no perder contenido de agua cuando inicien sus reacciones químicas, endurecimiento y resistencia.

Para cada diseño de mezcla de acuerdo al tratamiento previo de la fibra y sus respectivos porcentajes de reemplazo de cascarilla de café, se realizaron 3 especímenes para efectos de la prueba. Para el ensayo de compresión se realizaron en total 29 especímenes con los testigos CP).

**Ilustración 17:** *Proceso de fundición y curado de cilindros (autoría propia).*



**II. 17a.** Cilindros en formaleta (24h).



**II. 17b.** Curado Cilindros en piscina (28días).

**Tabla 46:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5 (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.5%</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Cantidad para cilindros</b>
Cemento	368	0,647
Agua	184	0,323
Grava	872,5	1,535
Arena	861	1,515
Reemplazo fibra	9,997	0,01759

**Tabla 47:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.0% (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.0%</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Cantidad para cilindros</b>
Cemento	368	0,647
Agua	184	0,323
Grava	876,9	1,543
Arena	861	1,515
Reemplazo fibra	6,678	0,01175

**Tabla 48:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 0.5% (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 0.5%</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Cantidad para cilindros</b>
Cemento	368	0,647
Agua	184	0,323
Grava	881,33	1,551
Arena	861	1,515
Reemplazo fibra	3,339	0,00596

Se determinó un registro de apariencia de los especímenes cilíndricos y se observó que en la construcción de cada uno, teniendo aún así la misma composición y el mismo procedimiento, existían variaciones en la apariencia con presencia de hormiguo y medianos poros, sobre todo se tuvo presente que esto sucedía en los cilindros que se fundían de último, pudiendo así concluir que se presentaba una ligera pérdida de agua en el proceso de fundir del primero al último.

### 5.3.1. Resultados

**Tabla 49:** *Resultados mezcla patrón a los 28 días (autoría propia).*

<b>MEZCLA PATRÓN (F'c 28 días)</b>					
	<b>Muestra</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistencia Real MPa</b>	<b>Promedio</b>
<b>Testigo</b>	CP (A)	3746	176,90	22,52	22,54
	CP (B)	3548	177,20	22,56	

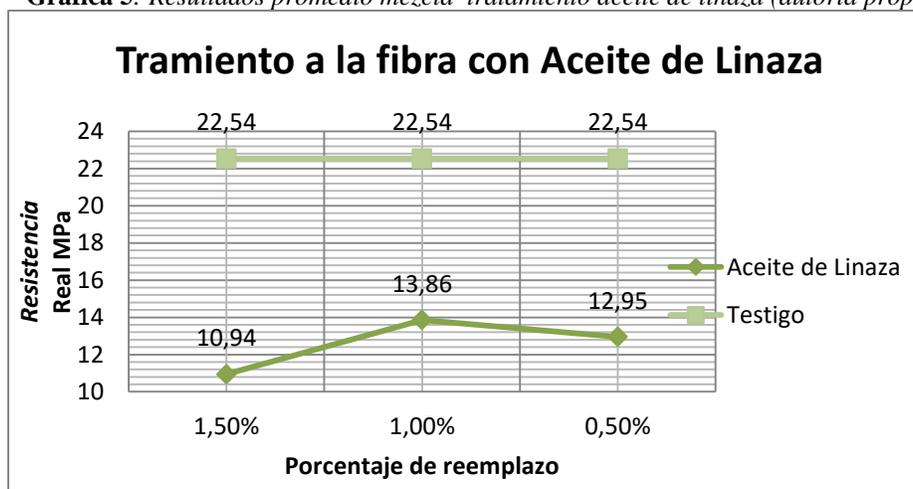
Para este ensayo, resistencia a la compresión de cilindros de 10x15cm, el promedio de la resistencia Real Mpa es de 22,54 resultado que será comparativo con los diseños de mezcla dados a partir de las variables de tratamiento a la cascarilla y porcentaje de reemplazo por fibra vegetal.

5.3.1.1. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con Aceite de Linaza.

**Tabla 50:** Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia).

<b>TRATAMIENTO ACEITE DE LINAZA (F'c 28 días)</b>							
<b>%</b>	<b>Muestra</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Cascarilla de café</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistencia Real MPa</b>	<b>Promedio</b>
<b>1,5%</b>	CFL-15(A)	1,536	0,018	3413	91,50	11,65	10,94
	CFL-15(B)	1,536	0,018	3478	83,20	10,59	
	CFL-15(C)	1,536	0,018	3465	82,50	10,50	
<b>1,0%</b>	CFL-10(A)	1,543	0,012	3634	106,80	13,60	13,86
	CFL-10(B)	1,543	0,012	3627	112,20	14,29	
	CFL-10(C)	1,543	0,012	3654	107,60	13,70	
<b>0,5%</b>	CFL-05(A)	1,551	0,006	3480	107,60	13,70	12,95
	CFL-05(B)	1,551	0,006	3522	96,10	12,24	
	CFL-05(C)	1,551	0,006	3478	101,40	12,91	

**Gráfica 5:** Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia).



Para el diseño de mezcla con tratamiento previo a la cascarilla, con aceite de linaza, se infiere que los resultados se reducen en comparación a los valores de resistencia para los testigos, mezcla patrón.

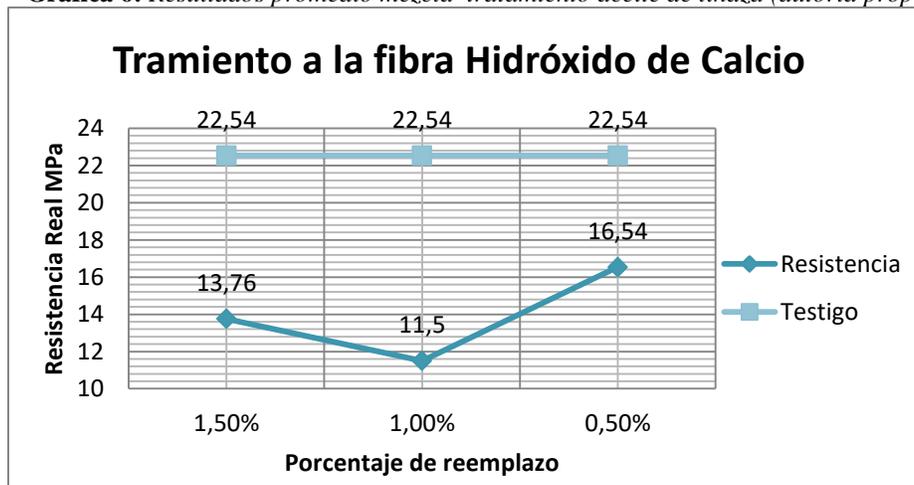
Entre las tres variables de porcentajes utilizados para este diseño de mezcla, se tiene que la mayor resistencia se presenta en la mezcla cuyo reemplazo de agregado grueso por fibra vegetal es del 1,0%, concluyendo que para este diseño superar este porcentaje reducirá notablemente la resistencia a la compresión.

5.3.1.2. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con Hidróxido de Calcio.

**Tabla 51:** Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia).

<b>TRATAMIENTO HIDRÓXIDO DE CALCIO (F'c 28 días)</b>							
<b>%</b>	<b>Muestra</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Cascarilla de café</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistencia Real MPa</b>	<b>Promedio</b>
<b>1,5%</b>	CFH-15(A)	1,536	0,018	3516	108,40	13,80	13,76
	CFH-15(B)	1,536	0,018	3504	106,50	13,56	
	CFH-15(C)	1,536	0,018	3508	109,50	13,94	
<b>1,0%</b>	CFH-10(A)	1,543	0,012	3708	90,00	11,46	11,5
	CFH-10(B)	1,543	0,012	3519	92,10	11,73	
	CFH-10(C)	1,543	0,012	3521	88,80	11,31	
<b>0,5%</b>	CFH-05(A)	1,551	0,006	3642	133,90	17,05	16,54
	CFH-05(B)	1,551	0,006	3614	116,50	14,83	
	CFH-05(C)	1,551	0,006	3671	139,40	17,75	

**Gráfica 6:** Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia).



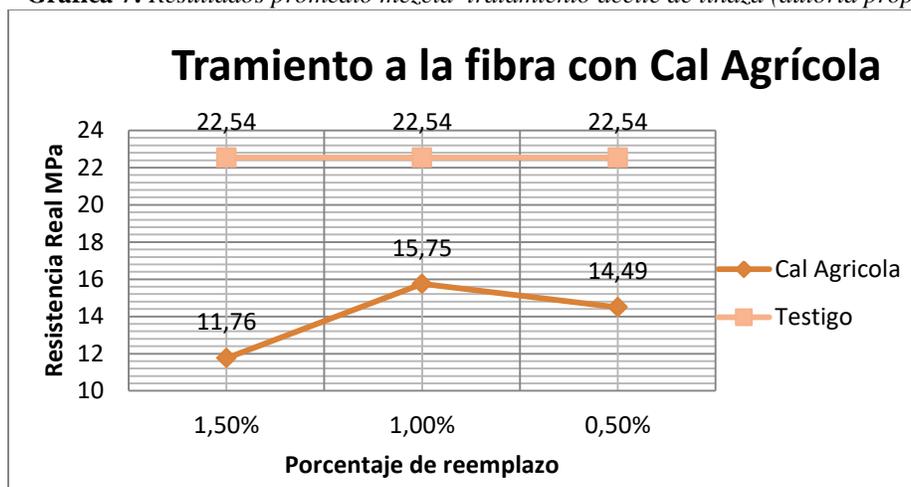
Este tratamiento arroja resultados de forma inferior a los establecidos por las probetas testigos, mezcla patrón sin ningún tipo de adición ni reemplazo. Para este caso, en el que se obtuvo una mejor resistencia es en la mezcla cuyo reemplazo de agregado grueso por fibra vegetal es del 0,5%, el menor valor de reemplazo, seguido de este el reemplazo 1,5% tuvo una mayor resistencia en comparación del 1,0%.

5.3.1.3. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con cal agrícola.

**Tabla 52:** Resultados mezcla tratamiento aceite de linaza a los 28 días (autoría propia).

<b>TRATAMIENTO CAL AGRÍCOLA (F'c 28 días)</b>							
<b>%</b>	<b>Muestra</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Cascarilla de café</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistencia Real MPa</b>	<b>Promedio</b>
<b>1,5%</b>	CFC-15(A)	1,536	0,018	3439	81,20	10,34	11,76
	CFC-15(B)	1,536	0,018	3568	94,60	12,04	
	CFC-15(C)	1,536	0,018	3475	101,50	12,92	
<b>1,0%</b>	CFC-10(A)	1,543	0,012	3575	118,80	15,13	15,75
	CFC-10(B)	1,543	0,012	3559	123,50	15,72	
	CFC-10(C)	1,543	0,012	3562	128,80	16,40	
<b>0,5%</b>	CFC-05(A)	1,551	0,006	3494	122,40	15,58	14,49
	CFC-05(B)	1,551	0,006	3515	107,70	13,71	
	CFC-05(C)	1,551	0,006	3493	111,40	14,18	

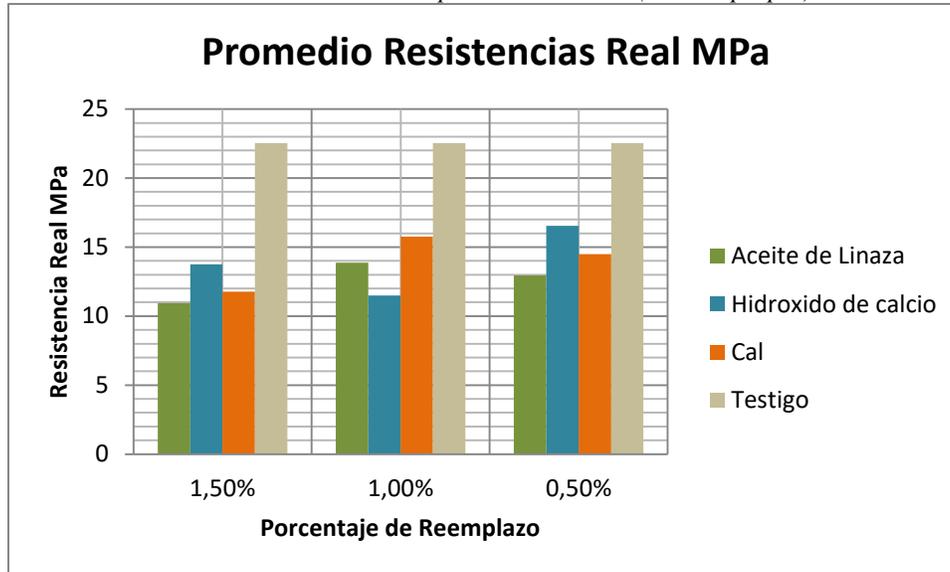
**Gráfica 7:** Resultados promedio mezcla tratamiento aceite de linaza (autoría propia).



Simultáneamente, al tratamiento con aceite de linaza e hidróxido de calcio, la protección a la fibra con cal agrícola, mantiene sus valores debajo de los comparados con la mezcla patrón. Con este tratamiento, previo a la ejecución de la mezcla, se obtuvo una mayor resistencia en la sustitución del 1,0% de fibra vegetal por agregado grueso, determinando que el aumento de porcentaje por el reemplazo de la cascarilla reducirá notablemente la resistencia.

5.3.1.4. Promedio resistencias de las 3 variables con sus respectivos porcentajes de reemplazos.

**Gráfica 8:** Resultados promedio mezclas (autoría propia).



Realizando una comparación de los resultados obtenidos, a partir de los promedios en los diseños de mezcla planteados, es claro que los porcentajes arrojan resultados con pérdida de resistencia en comparación con los valores dados por los cilindros testigos (CP), en los que la mezcla no posee ningún tipo de agregado ni reemplazo.

Para cada uno de los porcentajes, cada tratamiento sobresale uno más que el otro. Se puede apreciar que el mejor resultado lo arroja el tratamiento con hidróxido de calcio con un porcentaje del 0,5% y el tratamiento con cal agrícola al 1,0%, así como el hidróxido de calcio al 1,5%.

El uso de aceite de linaza como tratamiento genera una mayor resistencia en la sustitución de fibra vegetal en el 1,0% estando por encima del tratamiento de hidróxido de calcio, pero es el menor de las otras dos variables en los otros porcentajes de reemplazo.

## 5.4. Ensayo de Sortividad

Se desarrolla este ensayo tomando como referente la norma ASTM C1585 – 04, que determina poner en contacto con el agua una de las superficies del espécimen (en este caso fue la cara expuesta durante la fundida) y de esta manera lograr determinar la capacidad de absorción del agua a diferentes intervalos de tiempo. Para la ejecución se utilizaron especímenes cilíndricos de 10cm de diámetro x 20cm de altura, previamente al desarrollo de la prueba, se colocaron los especímenes a secar al horno a una temperatura de 80°C con el fin de garantizar que el mismo grado de saturación para todas las muestras.

La norma bajo la cual se desarrolla esta prueba, establece que los especímenes sean sellados por su perímetro con un material impermeable y con dimensiones específicas de 5cm de altura y 10cm de diámetro, sin embargo, dado que se trata de un ejercicio donde se busca comprobar las 3 variables de mezclas según el curado y sus respectivos porcentajes de reemplazo de agregado grueso por fibra vegetal, se optó por hacer uso de los cilindros completos, sin hacer uso de algún impermeabilizante perimetral, garantizando la lámina de agua de  $2\pm 1\text{mm}$  establecida por la norma.

**Ilustración 18:** *Proceso de ensayo sortividad (autoría propia).*



**II. 18a.** Secado de cilindros a 80°C (24h)



**II. 18b.** Ensayo de sortividad intervalos de tiempo

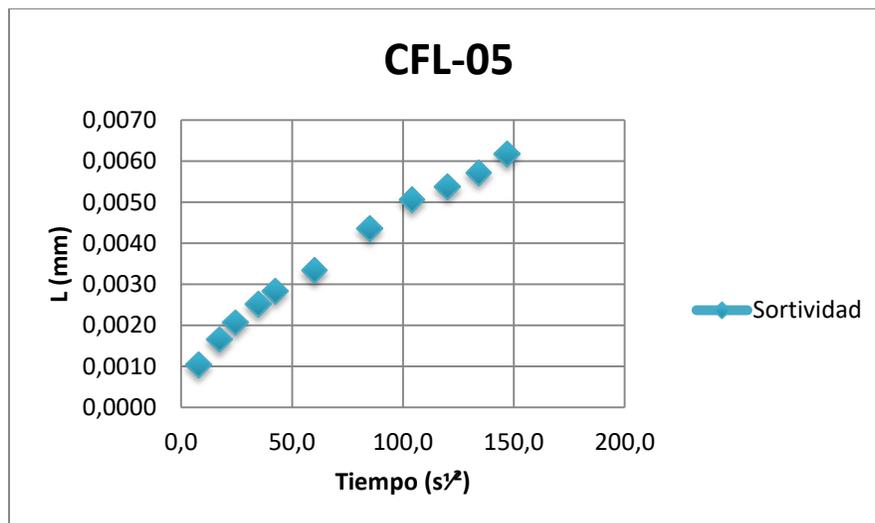
El ensayo se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de tecnología del concreto del edificio I.E.I., el procedimiento se efectuó siguiendo lo dictado por la norma.

Se Se tomaron pesos a los especímenes en diferentes intervalos de tiempo con el fin de tomar la sortividad inicial, se parte por tomar el peso de los cilindros en estado seco tomado como tiempo cero a partir del cual se podrá medir el cambio en el peso de los especímenes de acuerdo a los tiempos establecidos. También se toman cuatro (4) medidas a los diámetros de los cilindros, de las caras que estarán en contacto con el agua, para que realizado el cálculo de diferencia de peso de cada intervalo de tiempo este sea dividido entre el área obtenida con el promedio de los diámetros y se define la absorción en  $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ , para graficar la relación entre la raíz cuadrada del tiempo en segundos y la absorción obtenida.

**Tabla 53:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-05 (autoría propia).

<b>MUESTRA #1: Reemplazo: 0,5% - Aceite de Linaza Ensayo: Superficie superior</b>				
<b>Edad de la muestra: 28 Días Diámetro (mm): 103,7 Área expuesta: 8446m<sup>2</sup></b>				
<b>Tiempo ensayo (s)</b>	<b>Raíz C. tiempo (s<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)</b>
0	0	3289	0,0000	0,0000
60	8	3291,5	0,0010	0,0010
300	17	3293	0,0006	0,0017
600	24	3294	0,0004	0,0021
1200	35	3295,25	0,0004	0,0025
1800	42	3295,8	0,0003	0,0028
3600	60	3297,15	0,0005	0,0033
7200	85	3299,65	0,0010	0,0044
10800	104	3301,4	0,0007	0,0051
14400	120	3301,95	0,0003	0,0054
18000	134	3302,85	0,0004	0,0057
21600	147	3304,05	0,0005	0,0062

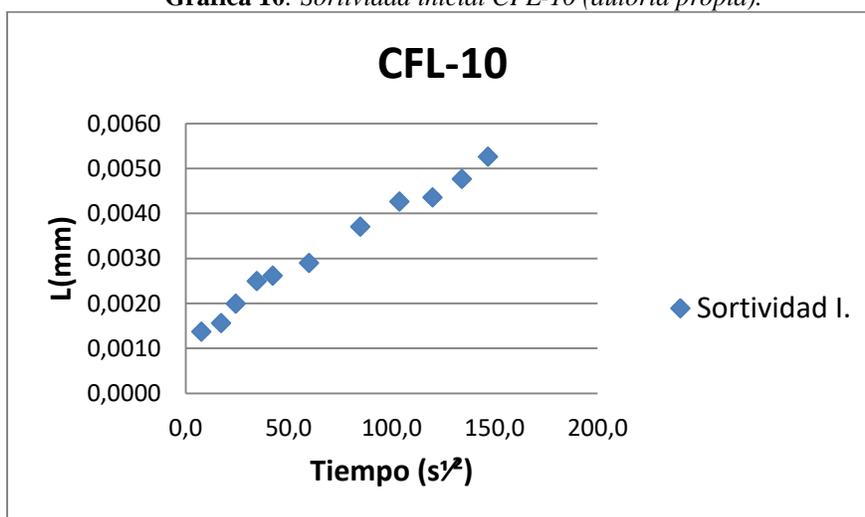
**Gráfica 9:** Sortividad inicial CFL-05 (autoría propia).



**Tabla 54:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-10 (autoría propia).

<b>MUESTRA #2:</b> Reemplazo: 1,0% - Aceite de Linaza <b>Ensayo:</b> Superficie superior				
<b>Edad de la muestra:</b> 28 Días <b>Diámetro (mm):</b> 100,36 <b>Área expuesta:</b> 7910m <sup>2</sup>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3402,333	0,0000	0,0000
60	8	3404,6	0,0014	0,0014
300	17	3405,1	0,0002	0,0016
600	24	3405,533	0,0004	0,0020
1200	35	3406,5	0,0005	0,0025
1800	42	3406,667	0,0001	0,0026
3600	60	3407,033	0,0003	0,0029
7200	85	3408,333	0,0008	0,0037
10800	104	3409,1	0,0006	0,0043
14400	120	3409,167	0,0001	0,0044
18000	134	3410	0,0004	0,0048
21600	147	3410,067	0,0005	0,0053

**Gráfica 10:** Sortividad inicial CFL-10 (autoría propia).

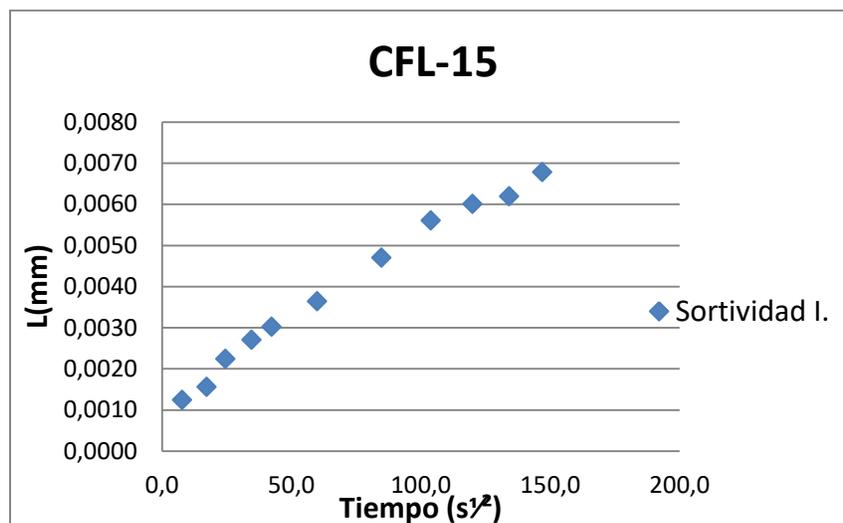


**Tabla 55:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFL-15 (autoría propia).

<b>MUESTRA #3:</b> Reemplazo: 1,5% - Aceite de Linaza <b>Ensayo:</b> Superficie superior				
<b>Edad de la muestra:</b> 28 Días <b>Diámetro (mm):</b> 101,06 <b>Área expuesta:</b> 8021m <sup>2</sup>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3300	0,0000	0,0000
60	8	3302	0,0012	0,0012
300	17	3302,5	0,0003	0,0016
600	24	3303,6	0,0007	0,0022
1200	35	3304,35	0,0005	0,0027
1800	42	3304,85	0,0003	0,0030
3600	60	3305,85	0,0006	0,0036
7200	85	3307,55	0,0011	0,0047
10800	104	3309,05	0,0009	0,0056

14400	120	3309,7	0,0004	0,0060
18000	134	3309,85	0,0002	0,0062
21600	147	3310,95	0,0006	0,0068

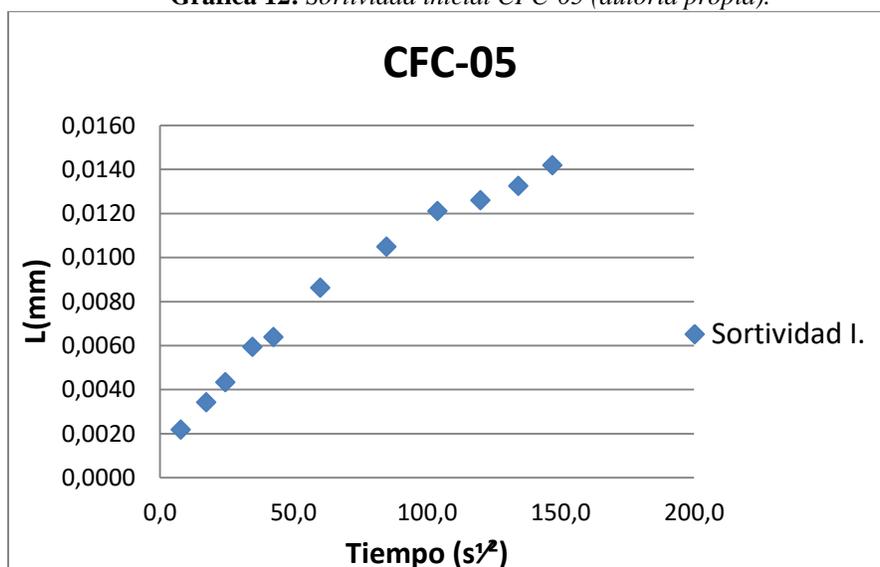
**Gráfica 11:** Sortividad inicial CFL-15 (autoría propia).



**Tabla 56:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-05 (autoría propia).

<b>MUESTRA #4:</b> Reemplazo: 0,5% - Cal Agrícola <i>Ensayo:</i> Superficie superior				
<i>Edad de la muestra:</i> 28 Días <b>Diámetro (mm):</b> 102,13 <b>Área expuesta:</b> 8190m <sup>2</sup>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3396,5	0,0000	0,0000
60	8	3400	0,0022	0,0022
300	17	3402	0,0012	0,0034
600	24	3403,45	0,0009	0,0043
1200	35	3406,05	0,0016	0,0059
1800	42	3406,75	0,0004	0,0064
3600	60	3410,35	0,0022	0,0086
7200	85	3413,35	0,0019	0,0105
10800	104	3415,95	0,0016	0,0121
14400	120	3416,75	0,0005	0,0126
18000	134	3417,8	0,0007	0,0133
21600	147	3419,3	0,0009	0,0142

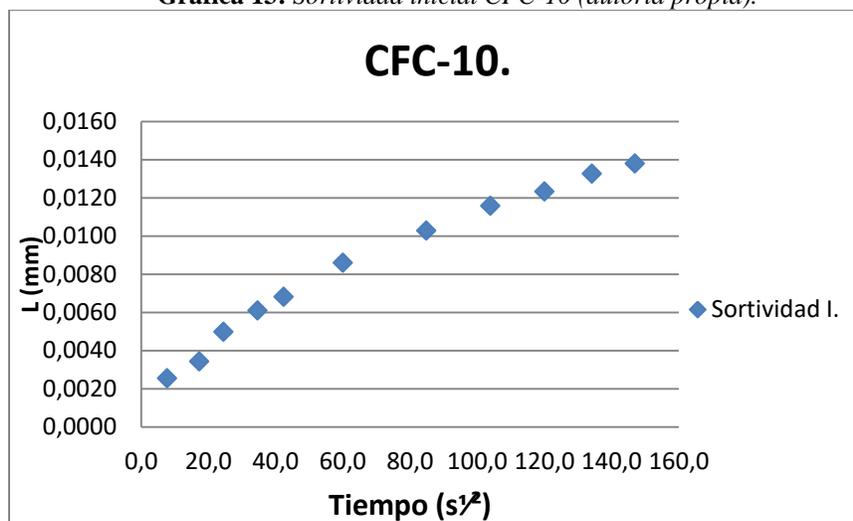
**Gráfica 12:** Sortividad inicial CFC-05 (autoría propia).



**Tabla 57:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-10 (autoría propia).

<b>MUESTRA #5:</b> Reemplazo: 1,0% - Cal Agrícola <b>Ensayo:</b> Superficie superior				
<b>Edad de la muestra:</b> 28 Días <b>Diámetro(mm):</b> 101,98 <b>Área expuesta:</b> 8168m <sup>2</sup>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3506,5	0,0000	0,0000
60	8	3510,6	0,0026	0,0026
300	17	3512	0,0009	0,0034
600	24	3514,5	0,0016	0,0050
1200	35	3516,3	0,0011	0,0061
1800	42	3517,45	0,0007	0,0068
3600	60	3520,3	0,0018	0,0086
7200	85	3523	0,0017	0,0103
10800	104	3525,1	0,0013	0,0116
14400	120	3526,3	0,0007	0,0123
18000	134	3527,8	0,0009	0,0133
21600	147	3528,65	0,0005	0,0138

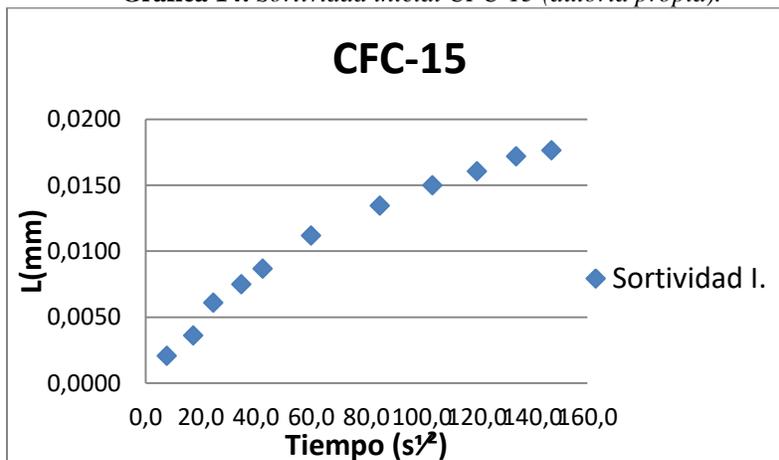
**Gráfica 13:** Sortividad inicial CFC-10 (autoría propia).



**Tabla 58:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFC-15 (autoría propia).

<b>MUESTRA #5:</b> Reemplazo: 1,5% - Cal Agrícola <b>Ensayo:</b> Superficie superior				
<b>Edad de la muestra:</b> 28 Días <b>Diámetro(mm):</b> 101,98 <b>Área expuesta:</b> 8168m <sup>2</sup>				
<b>Tiempo ensayo (s)</b>	<b>Raíz C. tiempo (s<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)</b>
0	0	3506,5	0,0000	0,0000
60	8	3510,6	0,0021	0,0021
300	17	3512	0,0016	0,0036
600	24	3514,5	0,0025	0,0061
1200	35	3516,3	0,0014	0,0075
1800	42	3517,45	0,0012	0,0087
3600	60	3520,3	0,0025	0,0112
7200	85	3523	0,0023	0,0134
10800	104	3525,1	0,0016	0,0150
14400	120	3526,3	0,0011	0,0161
18000	134	3527,8	0,0011	0,0172
21600	147	3528,65	0,0005	0,0176

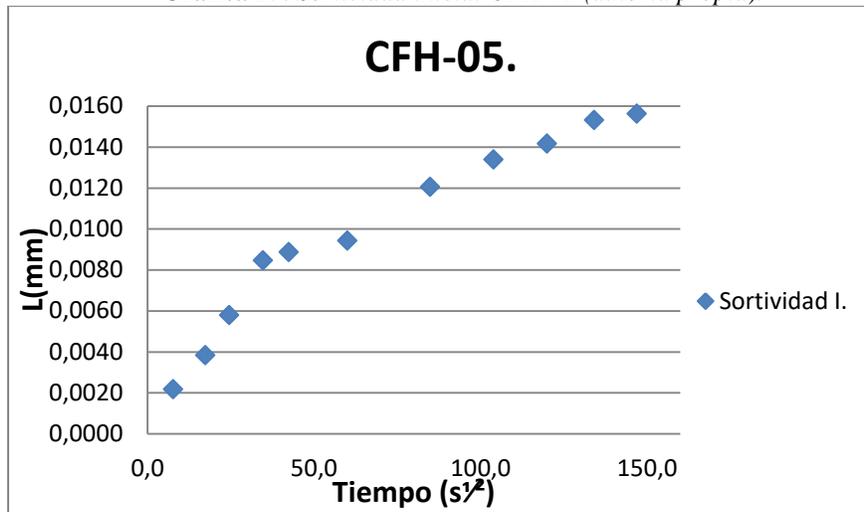
**Gráfica 14:** Sortividad inicial CFC-15 (autoría propia).



**Tabla 59:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-05 (autoría propia).

<b>MUESTRA #7: Reemplazo: 0,5% - Hidróxido de Calcio Ensayo: Superficie superior</b>				
<b>Edad de la muestra: 28 Días Diámetro (mm) : 101,29 Área expuesta: 8056m2</b>				
<b>Tiempo ensayo (s)</b>	<b>Raíz C. tiempo (s<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)</b>
0	0	3350,5	0,0000	0,0000
60	8	3354	0,0022	0,0022
300	17	3356,65	0,0016	0,0038
600	24	3359,8	0,0020	0,0058
1200	35	3364,1	0,0027	0,0085
1800	42	3364,75	0,0004	0,0089
3600	60	3365,65	0,0006	0,0094
7200	85	3369,85	0,0026	0,0120
10800	104	3372	0,0013	0,0134
14400	120	3373,25	0,0008	0,0142
18000	134	3375,1	0,0012	0,0153
21600	147	3375,6	0,0003	0,0156

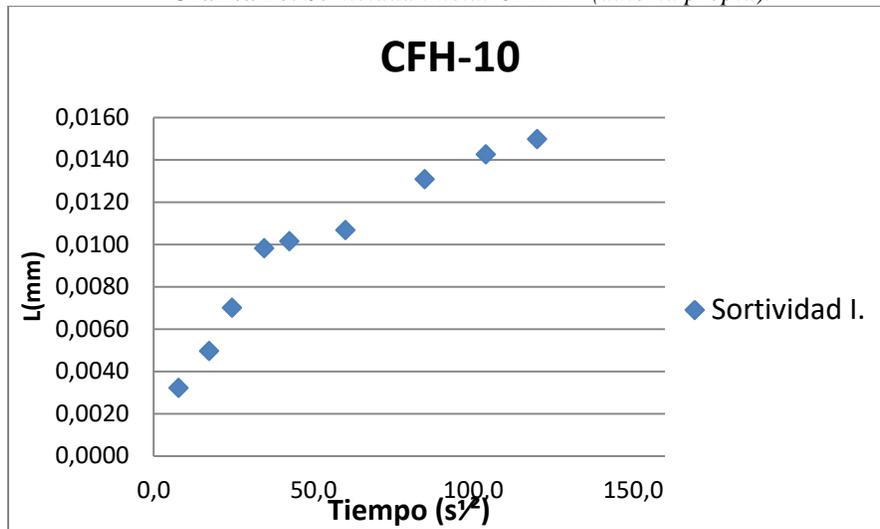
**Gráfica 15:** Sortividad inicial CFH-05 (autoría propia).



**Tabla 60:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-10 (autoría propia).

<b>MUESTRA #8:</b> Reemplazo: 1,0% - Hidróxido de Calcio <i>Ensayo:</i> Superficie superior				
<i>Edad de la muestra:</i> 28 Días <i>Diámetro (mm) :</i> 101,46 <i>Área expuesta:</i> 8085m <sup>2</sup>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3346	0,0000	0,0000
60	8	3351,15	0,0032	0,0032
300	17	3353,95	0,0017	0,0049
600	24	3357,25	0,0021	0,0070
1200	35	3361,75	0,0028	0,0098
1800	42	3362,3	0,0003	0,0101
3600	60	3363,15	0,0005	0,0107
7200	85	3367	0,0024	0,0131
10800	104	3368,9	0,0012	0,0142
14400	120	3370,05	0,0007	0,0150
18000	134	3371,8	0,0011	0,0161
21600	147	3372,5	0,0004	0,0165

**Gráfica 16:** Sortividad inicial CFH-10 (autoría propia).



**Tabla 61:** Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CFH-15 (autoría propia).

<b>MUESTRA #9:</b> Reemplazo: 1,5% - Hidróxido de Calcio <b>Ensayo:</b> Superficie superior <b>Edad de la muestra:</b> 28 Días <b>Diámetro (mm) :</b> 99,91 <b>Área expuesta:</b> 7838m <sup>2</sup>				
<b>Tiempo ensayo (s)</b>	<b>Raíz C. tiempo (s<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa (gr)</b>	<b>Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)</b>
0	0	3376	0,0000	0,0000
60	8	3379,65	0,0023	0,0023
300	17	3381,2	0,0010	0,0032
600	24	3383,65	0,0015	0,0048
1200	35	3387,35	0,0023	0,0071
1800	42	3387,85	0,0003	0,0074
3600	60	3388,65	0,0005	0,0079
7200	85	3392,7	0,0025	0,0104
10800	104	3394,6	0,0012	0,0116
14400	120	3395,65	0,0007	0,0122
18000	134	3397,4	0,0011	0,0133
21600	147	3397,9	0,0003	0,0136

Gráfica 17: Sortividad inicial CFH-15 (autoría propia).

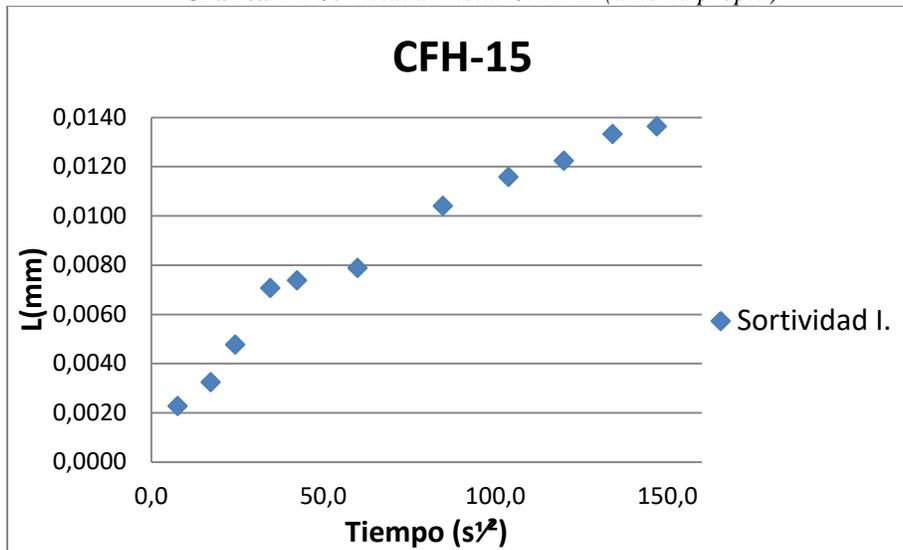
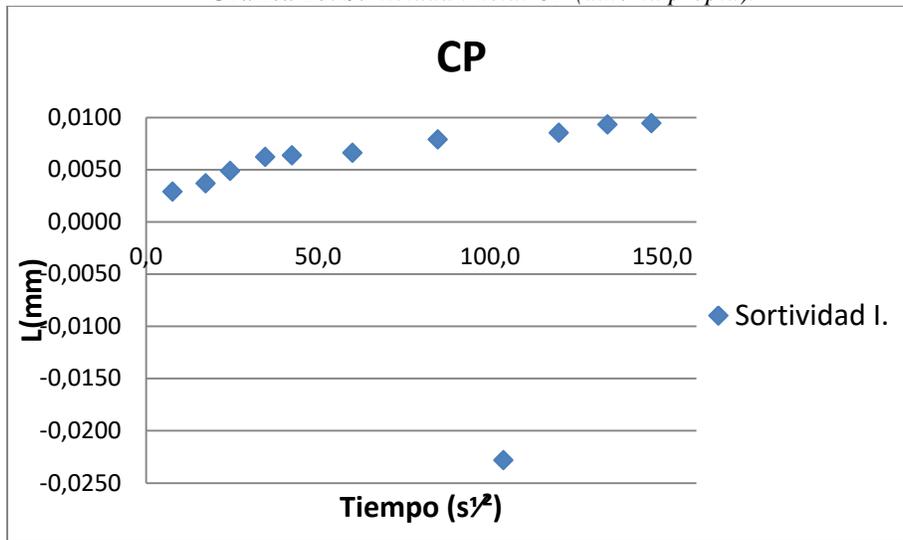


Tabla 62: Resultado intervalos de tiempo sortividad inicial CP (autoría propia).

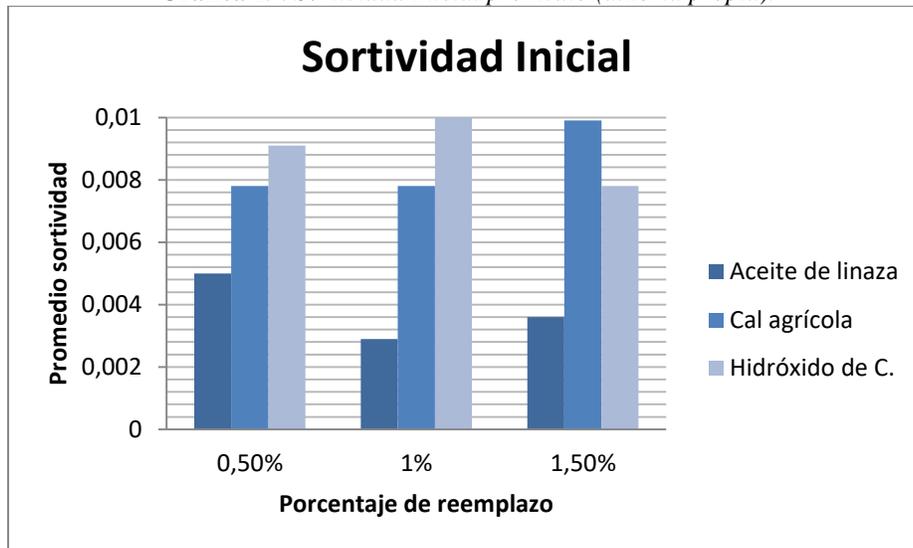
MUESTRA #10: Testigos <i>Ensayo: Superficie superior</i>				
<i>Edad de la muestra: 28 Días Diámetro (mm) : 99,45 Área expuesta: 7766m<sup>2</sup></i>				
Tiempo ensayo (s)	Raíz C. tiempo (s <sup>1/2</sup> )	Masa (gr)	Δ Masa (gr)	Δ Masa/área/densidad del agua = l(mm)
0	0	3670,5	0,0000	0,0000
60	8	3675,1	0,0029	0,0029
300	17	3676,4	0,0008	0,0037
600	24	3678,3	0,0012	0,0049
1200	35	3680,45	0,0013	0,0062
1800	42	3680,7	0,0002	0,0063
3600	60	3681,1	0,0002	0,0066
7200	85	3683,15	0,0013	0,0079
10800	104	3683,8	-0,0307	-0,0228
14400	120	3684,2	0,0314	0,0085
18000	134	3685,45	0,0008	0,0093
21600	147	3685,65	0,0001	0,0094

**Gráfica 18:** *Sortividad inicial CP (autoría propia).*



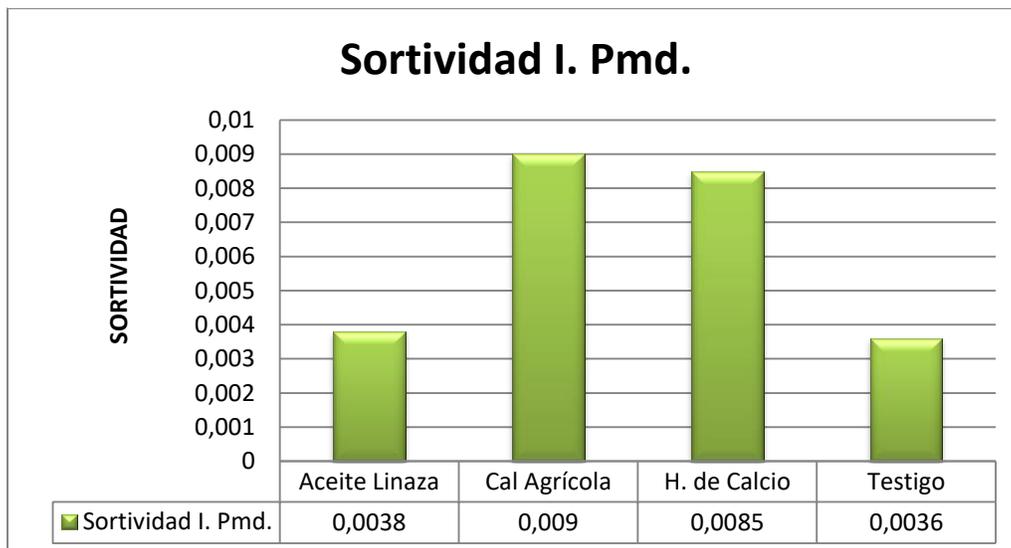
Se calculan todos los valores dados por cada una de las variables, tanto tratamiento como porcentaje de reemplazo en los intervalos de tiempo establecidos para medir la capacidad de absorción por capilaridad. Estos resultados fueron obtenidos de especímenes curados durante 28 días.

**Gráfica 19:** *Sortividad Inicial promedio (autoría propia).*



Se presentan notables variaciones con respecto a los porcentajes de reemplazo y los tratamientos. Para el tratamiento con aceite de linaza el grado de absorción es el menor en relación a los otros tratamientos, siendo el porcentaje 1,0% el mejor resultado para esta variable. Los tratamientos, hidróxido de calcio y cal agrícola determinan en relación a la mezcla patrón y aceite de linaza, una alta capacidad de absorción.

**Gráfica 20:** *Sortividad promedio entre los tres tratamientos (autoría propia).*



## 5.5. Ensayo módulo de rotura

Este ensayo suministra el valor de la resistencia a la tracción del concreto en forma indirecta. Medida que se toma a una viga de concreto no reforzado. Para ello se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6" \* 6" (150\*150mm) de sección transversal y con luz de tres veces el espesor o sea 18" (450mm). La resistencia a la tracción se expresa como el módulo de rotura (MR) y se determina mediante el método de ensayo, en este caso ASTM C78, la carga se aplica en los tercios de la luz libre.

**Ilustración 19:** Procedimiento flexión a vigas (autoría propia).

**II. 19a.** Momento de aplicación de fuerza a la viga



**II. 19b.** Viga fallada



**II. 19c.** Cara de la fractura



Para este ensayo se fundieron vigas de 50cm de longitud, con sección prismática cuadrada de 15cm x 15cm, pasados 28 días de su elaboración. Se realizaron 20 vigas, correspondiendo a las 3 variables de tratamiento previo a la fibra vegetal, a los porcentajes de reemplazo (0,5% - 1,0% - 1,5%), y las vigas testigo sin ningún tipo de reemplazo ni adición.

Los pesos de los materiales fueron multiplicados por 0,0123 (0,0112 volumen de la formaleta de la viga x 1,10 desperdicio).

**Tabla 63:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.5 (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.5%</b>		
<i>Material</i>	<i>Peso kg/m3</i>	<i>Cantidad para vigas</i>
Cemento	368	4526
Agua	184	2,263
Grava	872,5	10,609
Arena	861	10,590
Reemplazo fibra	9,997	0,123

**Tabla 64:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 1.0% (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 1.0%</b>		
<i>Material</i>	<i>Peso kg/m3</i>	<i>Cantidad para cilindros</i>
Cemento	368	4526
Agua	184	2,263
Grava	876,9	10,650
Arena	861	10,590
Reemplazo fibra	6,678	0,082

**Tabla 65:** *Proporciones de mezcla Reemplazo al 0.5% (autoría propia)*

<b>REEMPLAZO CASCARILLA DE CAFÉ AL 0.5%</b>		
<i>Material</i>	<i>Peso kg/m3</i>	<i>Cantidad para cilindros</i>
Cemento	368	4526
Agua	184	2,263
Grava	881,33	10,691
Arena	861	10,590
Reemplazo fibra	3,339	0,041

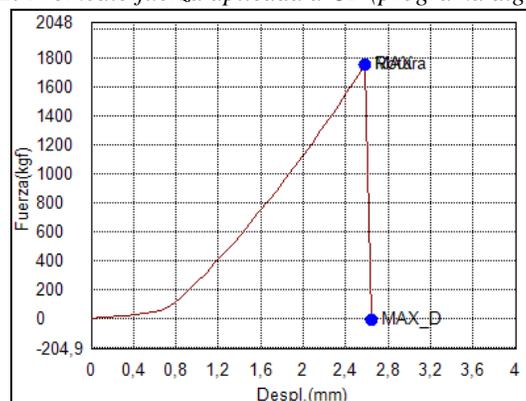
### 5.5.1. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo de la prueba aplicada a las vigas de concreto falladas a flexión.

**Tabla 66:** Resultados ensayo flexión a vigas CP (autoría propia).

MEZCLA PATRÓN (F'c 28 días)							
	Muestra	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio probeta (mm)	Altura promedio probeta (mm)	Resistencia a la flexión de la viga (N)	Promedio de carga máxima soportada (N)	Módulo de Rotura (MPa)
Testigos	CP(A)	450	150	150	1786,33	1767,54	6,8
	CP(B)				1748,75		

**Gráfica 21:** Promedio fuerza aplicada a CP (programa digital del ensayo).



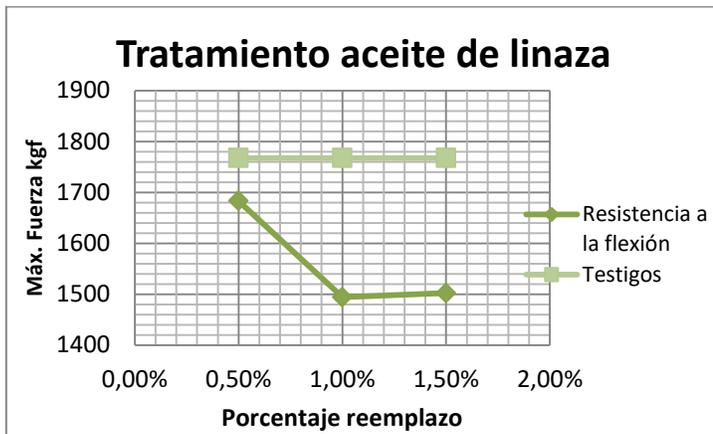
La carga máxima alcanzada por el concreto con diseño de mezcla sin adiciones ni reemplazos (CP), es en promedio de 1767, 54 (23,56 MPa), resultado que será utilizado como referente para los datos arrojados por diseños de mezclas con reemplazo de fibra vegetal ya planteados.

5.5.1.1. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con Aceite de Linaza.

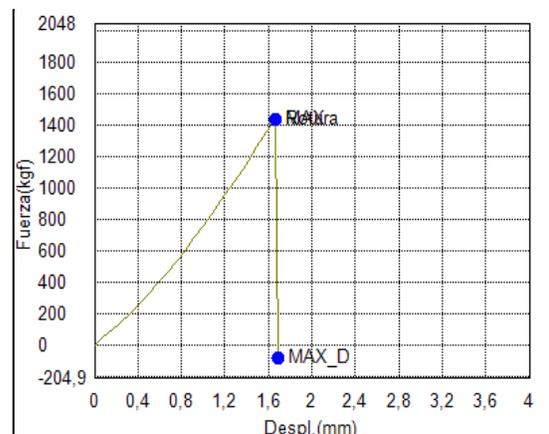
**Tabla 67:** Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento aceite de linaza (autoría propia).

TRATAMIENTO ACEITE DE LINAZA (F'c 28 días)							
%	Muestra	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio probeta (mm)	Altura promedio probeta (mm)	Resistencia a la flexión de la viga (N)	Promedio de carga máxima soportada (N)	Módulo de Rotura (MPa)
1,5%	CFL-15(A)	450	150	150	1570,67	1502,05	5,8
	CFL-15(B)				1433,43		
1,0%	CFL-10(A)	450	150	150	1525,81	1494	5,7
	CFL-10(B)				1462,2		
0,5%	CFL-05(A)	450	150	150	1664,96	1683,01	6,5
	CFL-05(B)				1701,07		
						Promedio	<b>6</b>

**Gráfica 23:** Promedio a cada porcentaje (autoría propia).



**Gráfica 22:** Promedio fuerza aplicada (programa digital del ensayo).



En la variable, tratamiento a la fibra con aceite de linaza, se obtiene como resultado cifras inferiores a las dadas por la mezcla patrón, perdiendo resistencia todos los porcentajes ante el ensayo de flexión de vigas. De acuerdo a los datos generados se puede establecer que el porcentaje de sustitución para este diseño de mezcla con mayor resistencia a la flexión es del 0,5%.

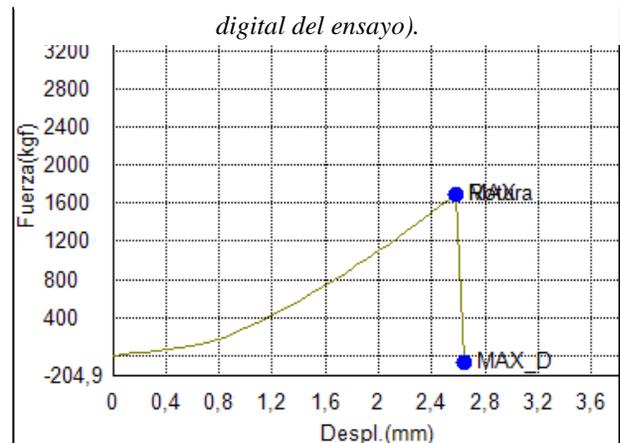
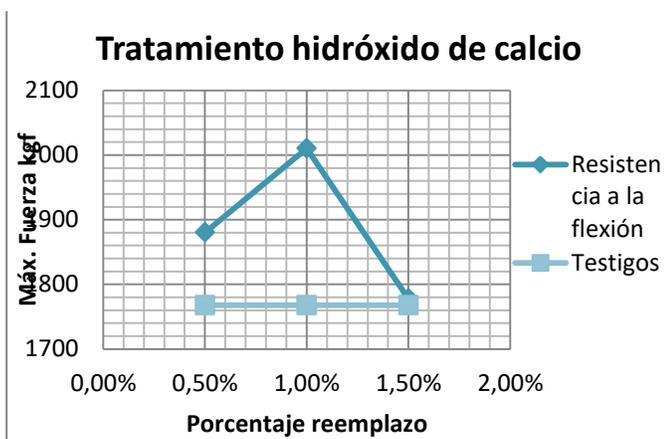
5.5.1.2. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con Hidróxido de Calcio.

**Tabla 68:** Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento hidróxido de calcio (autoría propia).

TRATAMIENTO HIDRÓXIDO DE CALCIO (F'c 28 días)							
%	Muestra	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio probeta (mm)	Altura promedio probeta (mm)	Resistencia a la flexión de la viga (N)	Promedio de carga máxima soportada (N)	Módulo de Rotura (MPa)
1,5%	CFH-15(A)	450	150	150	1856,33	1777,88	6,8
	CFH-15(B)				1699,43		
1,0%	CFH-10(A)	450	150	150	2165,23	2010,3	7,8
	CFH-10(B)				1855,36		
0,5%	CFH-05(A)	450	150	150	1896,38	1880,12	7,2
	CFH-05(B)				1863,87		
						Promedio	7,2

**Gráfica 25:** Promedio a cada porcentaje (autoría propia).

**Gráfica 26:** Promedio fuerza aplicada (programa digital del ensayo).



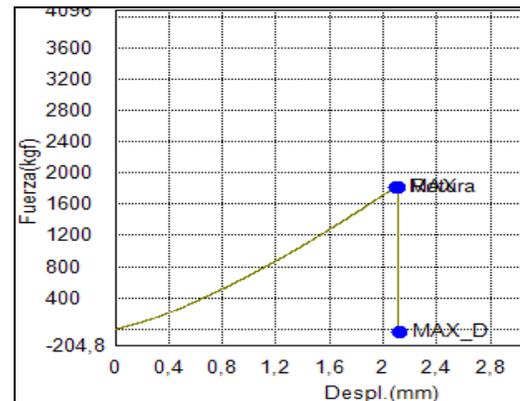
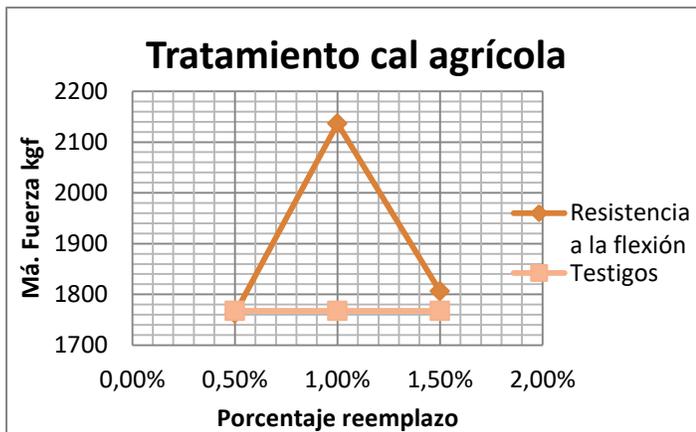
Este diseño de mezcla, con el previo tratamiento a la cascarilla de café con Hidróxido de calcio, supero en los tres porcentajes de sustitución de agregado grueso la resistencia a la flexión de las probetas testigo. El mejor resultado para este diseño de mezcla lo obtuvo el 1,0% de sustitución, seguido por el 0,5% y la menor resistencia la obtuvo la mezcla con el 1,5% de reemplazo.

5.5.1.3. Diseño de Mezcla con previo tratamiento a la fibra con Cal Agrícola.

**Tabla 69:** Resultados ensayo flexión a vigas tratamiento cal agrícola (autoría propia).

TRATAMIENTO CAL AGRÍCOLA (F'c 28 días)							
%	Muestra	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio probeta (mm)	Altura promedio probeta (mm)	Resistencia a la flexión de la viga (N)	Promedio de carga máxima soportada (N)	Módulo de Rotura (MPa)
1,5%	CFC-15(A)	450	150	150	1789,01	1805,90	6,9
	CFC-15(B)				1822,78		
1,0%	CFC-10(A)	450	150	150	2053,21	2136,58	8,1
	CFC-10(B)				2219,96		
0,5%	CFC-05(A)	450	150	150	1788,84	1762,44	6,7
	CFC-05(B)				1736,04		
						Promedio	<b>7,2</b>

**Gráfica 27:** Promedio a cada porcentaje (autoría propia).

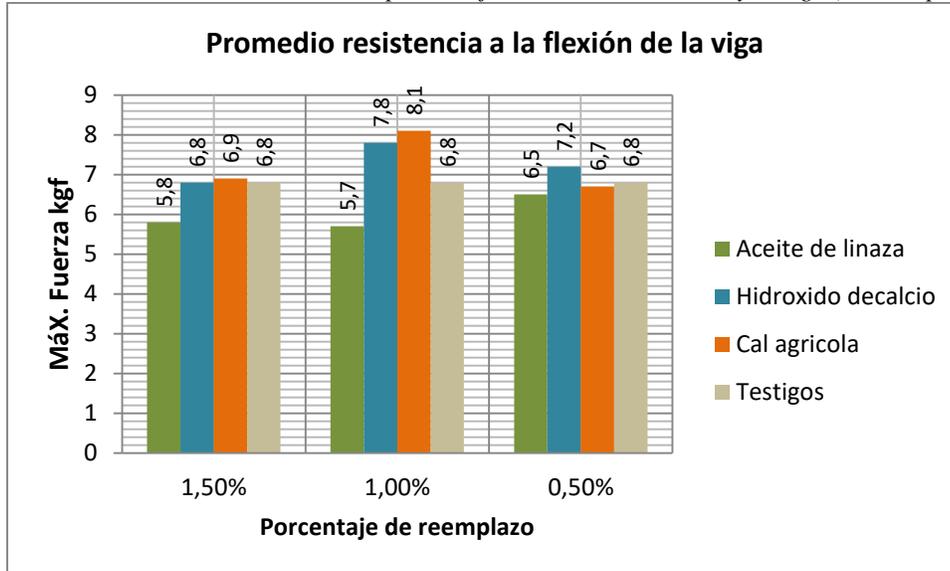


Esta variable, tratamiento a la cascarilla con cal agrícola, obtuvo igualmente que el hidróxido de calcio, resultados superiores que la mezcla patrón.

Este tratamiento, previo a la ejecución de la mezcla, obtuvo una mayor resistencia en la sustitución del 1,0% de fibra vegetal por agregado grueso, paralelamente, los porcentajes 0,5% y 1,5% son notablemente inferiores.

5.5.1.4. Promedio resistencia a la flexión de vigas de las 3 variables con sus respectivos porcentajes de reemplazos.

**Gráfica 28:** Promedio resultado de los porcentajes en las tres variables y testigo (autoría propia)



De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de flexión de vigas, se determinan los resultados promedio de los diseños de mezcla establecidos, teniendo así dos variables que superan los resultados de las vigas testigo, el tratamiento hidróxido de calcio y cal agrícola, aunque en el reemplazo del 0,5% la mezcla patrón supera por unas mínimas unidades al tratamiento con cal agrícola.

El tratamiento con aceite de linaza no supera la variable mezcla patrón, esta queda por debajo de los resultados en todos los porcentajes de sustitución. En cuanto al porcentaje de reemplazo que arrojo mejores resultados para el ensayo de flexión de vigas es 1,0%, esto para las variables hidróxido de calcio y cal agrícola, el tratamiento con aceite de linaza se ubica por debajo de la mezcla patrón.

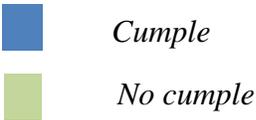
## 5.7. Elección de muestra a desarrollar en prototipo de formaleta

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los diseños de mezclas planteados, se establece en conjunto, una relación comparativa que permite simplificar y tomar el mejor resultado con las mejores características físicas y mecánicas para lograr realizar dos prototipos de placas y de diseño respectivamente, uno con una mezcla resultado de las mejores características mecánicas, y otro con las mejores cualidades físicas a la vista.

### 5.7.1. Selección de mezcla comportamiento mecánico

**Tabla 70:** Promedio de mejores características mecánicas (autoría propia).

ENSAYO	T. ACEITE DE LINAZA			T. HIDRÓXIDO DE CALCIO			T. CAL AGRÍCOLA		
	1.5 %	1.0 %	0.5 %	1.5 %	1.0 %	0.5 %	1.5 %	1.0 %	0.5 %
Trabajabilidad									
Resistencia									
M. Rotura									



■ Cumple

■ No cumple

La mezcla con mejores características en su comportamiento mecánico para el desarrollo del prototipo de formaleta, es la del tratamiento con hidróxido de calcio, a pesar de tener resultados similares con el tratamiento de cal agrícola, los resultados en específico son superiores por el tratamiento con hidróxido, y el porcentaje con las cifras en promedio más altas es del 1.0%.

A partir de estos resultados, se utiliza la mezcla con reemplazo al 1.0%, y tratamiento previo a la cascarilla con hidróxido de calcio.

## 5.7.2. Selección de mezcla comportamiento físico

**Tabla 71:** Promedio de mejores características físicas (autoría propia).

ENSAYO	T. ACEITE DE LINAZA			T. HIDRÓXIDO DE CALCIO			T. CAL AGRÍCOLA		
	1.5 %	1.0 %	0.5 %	1.5 %	1.0 %	0.5 %	1.5 %	1.0 %	0.5 %
Trabajabilidad									
Apariencia									
Pigmentación									
Formaleta									
Sortividad									



*Cumple*



*No cumple*

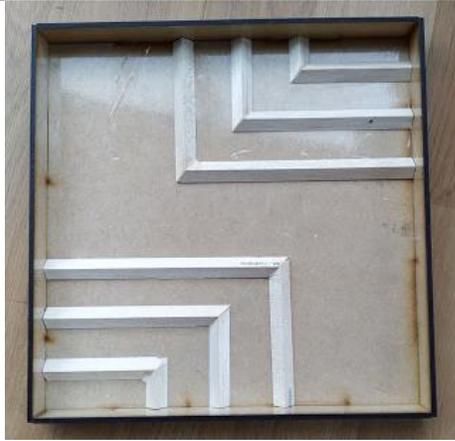
El tratamiento aceite de linaza es utilizado para el prototipo de formaleta, porque sus características son superiores en comparación con las otras dos variables de tratamiento. El tratamiento con cal agrícola cumple de forma similar con las características físicas para este prototipo, pero teniendo en cuenta factores como la apariencia particular que dejaron los resultados de exposición a la intemperie y ensayo de sortividad, el uso de aceite de linaza para la protección de cascarilla es superior a los demás.

El tratamiento con aceite de linaza, y sustitución de agregado grueso por fibra vegetal al 1.0% es utilizado para el desarrollo de prototipo de formaleta.

## 5.8. Desarrollo de prototipos

Se fabricaron dos prototipos de formaleta, uno para el diseño de mezcla que cumple con las características físicas, y otro para el diseño de mezcla con las características mecánicas.

**Tabla 72:** Mezclas prototipo final (autoría propia).

<b>MEZCLAS DE CONCRETO SUSTITUCIÓN 1,0%</b>	
<b><i>PROTOTIPO PARA PROPIEDADES FÍSICAS</i></b>	<b><i>PROTOTIPO PARA PROPIEDADES MECÁNICAS</i></b>
<i>Formaleta con poliestireno expandido</i>	<i>Formaleta con elementos en balsa</i>
	
<i>Desmolde</i>	<i>Desmolde</i>
	



## 5.9. Resultados

### 5.9.1. Prototipo para propiedades físicas

El prototipo de formaleta para explorar las propiedades físicas, se ajustó a los requerimientos del diseño de formaleta, la copia de textura, modelo y pigmentación, se pueden visualizar en el concreto final, haciendo uso de cemento blanco y pigmento color amarillo. En este diseño no es observable a simple vista, como en el ejercicio experimental, las partículas de cascarilla, quizás esto dependa de la cantidad de cascarilla ya que en este ejercicio se utilizó únicamente el 1% de reemplazo.

Con menor cantidad de poros, los existentes dados en su mayoría a la porosidad de la formaleta, esta mezcla se adaptó a los objetivos de esta investigación, el lograr homogeneidad en la pigmentación y adherencia a los diferentes prototipos de diseño de formaleta.

### 5.9.2. Prototipo para propiedades mecánicas

Para este prototipo se hizo uso de cemento gris sin ningún tipo de aditivo colorante. De igual manera que al anterior prototipo, este se ajustó a los parámetros exigidos, al diseño de formaleta, con facilidad se pudo retirar del molde, se le pudieron retirar los elementos en balsa, y en este proceso no hubo daños de filos, al contrario, copia con exactitud el diseño de la formaleta.

A pesar de hacer una estricta ejecución de vibrado para este prototipo, teniendo presente lo sucedido en el ejercicio experimental, se obtuvo nuevamente porosidad en esta cara de la placa, en menor cantidad, pero siguen presente las burbujas que dificultan en alguna medida a obtener una superficie más homogénea con menor porosidad.

## **6. Capítulo: Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

La fibra vegetal, cascarilla de café, proveniente de la trilla del grano de café, como reemplazo del agregado grueso cumple con los parámetros de resistencia para elementos no estructurales como se planteó al inicio de investigación, cumple con las condiciones de trabajabilidad de la mezcla y acabado óptimo y particular para el desarrollo como concreto arquitectónico.

Se tuvo en cuenta la literatura, investigaciones anteriores donde las recomendaciones se basaban en no tener altos porcentajes de sustitución dado que la resistencia tiende a bajar significativamente y de tal manera conservar la manejabilidad y propiedades mecánicas de la mezcla.

A partir de los análisis realizados a las placas para evaluar la adherencia al color, al estampado y a la textura, se puede concluir que por apariencia, aplicar el tratamiento de aceite de linaza a la cascarilla permite que estas partículas queden a la vista generando una característica particular a la visual del concreto para las diferentes aplicaciones arquitectónicas. El tratamiento con cal agrícola no genera el mismo efecto en las partículas de la cascarilla como lo genera el aceite de linaza, sin embargo, tuvo una óptima adherencia al color y a los patrones de diseño de formaletas que se establecieron. A diferencia del tratamiento con hidróxido de calcio no hubo una homogeneidad en la pigmentación y al igual que con la cal agrícola, las partículas no son visibles a la cara del concreto como si lo logra el tratamiento con aceite de linaza, sin embargo se adaptó de forma óptima a los patrones de formaleta establecidos.

Se recomienda un buen procedimiento y ejecución para el vibrado, para lograr retirar la mayor parte de aire contenido en la mezcla y evitar porosidad en la cara principal del concreto como acabado arquitectónico.

El reemplazo que sustituye al agregado grueso por agregado vegetal refleja una disminución del peso, debido a las características propias de la fibra vegetal, la reducción del peso varía entre el 0,13% y 5,34% en comparación con la mezcla patrón. No hay una variación notable en la consistencia de la mezcla por parte de la fibra vegetal y entre la mezcla patrón, lo que permite una mezcla manejable sin dificultad, conservando los valores de asentamiento establecidos para el diseño de mezcla.

Los resultados obtenidos para el ensayo de resistencia a compresión, fueron menores con respecto a la mezcla patrón entre el 48,53 y 73,60%, obteniendo un menor desempeño para la sustitución del 1,5%, y el mejor resultado de resistencia fue el reemplazo del 0,5% con la variable tratamiento hidróxido de calcio, considerando que esta variable fue la que tuvo mejores resultados con respecto al aceite de linaza y a la cal agrícola, sin embargo en el porcentaje de sustitución 1% la cal agrícola supero en resistencia a la compresión al ensayo con hidróxido de calcio del mismo porcentaje.

Se puede concluir que los mejores resultados a la resistencia se encuentran entre los porcentajes 0,5 y 1,0%.

Para el ensayo de sortividad inicial, el porcentaje con mayor absorción con respecto a la mezcla patrón, incluso superando a esta, es la sustitución de 0,5% y el porcentaje con menor absorción de agua es la del 1,0%, teniendo en cuenta el tipo de tratamiento que se le dio a la cascarilla. El aceite de linaza fue de entre las tres variables de tratamiento a la cascarilla la que menos tuvo absorción de agua, se podría decir que debido a sus propiedades repelentes contra el agua, no se facilitó la succión por capilaridad del agua en este ensayo. El porcentaje y tratamiento con mayor absorción de agua fue el 1,5% con hidróxido de calcio, superando a todas las demás variables.

Los resultados obtenidos para el ensayo de flexión de vigas son muy óptimos, la adición de fibra vegetal genera posesividad entre las partículas, la sustitución del agregado grueso por la fibra vegetal está por encima de los valores dados por la mezcla patrón entre 0,56% y 17,27%,

a excepción de la mezcla con tratamiento a la fibra con aceite de linaza, esta mostró resultados inferiores entre el 4,7% y 15%. Claramente el tratamiento aplicado a la fibra vegetal influye notoriamente en estos resultados, siendo la cal agrícola al 1,0% la que tiene mayor resistencia a la flexión de vigas.

En general se puede decir que, realizar mezclas con adición de la fibra vegetal cascarilla de café para el uso y aplicaciones como concreto arquitectónico, es posible, obteniendo parámetros de resistencia, durabilidad, cohesión entre los materiales, homogeneidad entre la pigmentación, los tratamientos efectuados a la cascarilla en relación a los demás materiales de la mezcla lo cual se obtiene al igual que con el concreto de agregado convencional, siempre que se lleven a cabo los procedimientos correctamente y un exhaustivo curado.

## **6.2. Recomendaciones**

Se recomienda estudiar el efecto de las variables de tratamiento a la cascarilla de café a edades de 7, 14 y 56 días para observar si existe una relación entre el tiempo de curado y el proceso de mineralización de la fibra, así como estudiar el curado con bosa plástica.

Teniendo presente los resultados obtenidos y después de comprobar que el uso del tratamiento con hidróxido de calcio tiene mejores cualidades mecánicas que las otras mezclas, y el tratamiento con aceite de linaza mejores cualidades físicas, se podrían realizar un estudio con las dos variables en una misma mezcla, cada una al 0.5%y analizar su comportamiento.

Considerando que los resultados para la prueba de sortividad inicial fue optimo únicamente en la variable de aceite de linaza, se recomienda realizar más pruebas de durabilidad y obtener la sortividad secundaria, para determinar si las variables de protección a la fibra mejoran la resistencia frente a todo tipo de agentes externos que afecten la vida de servicio, como el desgaste, contaminación, agua, luz solar, los sulfatos y los ácidos.

Es importante estudiar el módulo de elasticidad estático y dinámico del material con el fin de observar si la adición en estudio causa una variación en la influencia y la elasticidad del concreto, con el fin de ampliar las aplicaciones a esta tecnología.

Para obtener una menor cantidad de porosidad se recomienda agregar a la mezcla un 5% más de agua o poner a prueba algunos aditivos que favorezcan su reducción.

## 7. Bibliografía

(ASOCRETO), A. C. de P. de C. (n.d.). Concreto. Bogotá, Colombia.

(IMCYC). (2017). *Panorama internacional de los prefabricados de concreto*.

Agudelo, J. M. S. (2012). Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania Antioquia: usos y aplicaciones. *Corporación Universitaria Lasallista*.

Alvarado, C. A. J. (2002). Concretos Base Cemento Portland Reforzados Con Fibras Naturales (Agave Lecheguilla), Como Materiales Para Construcción En Mexico Junio, 2002. *Universidad Autónoma de Nuevo León*. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/5833/1/1020150648.PDF>

American Concrete Institute (Aci). (2009). *ACI 544.1R-96: Report on Reinforced Concrete (Reapproved)*. ACI Committee 544. Detroit, 96(Reapproved 2009), 1–66. Retrieved from <http://indiafiber.com/Files/ACI report.pdf>

Anink, D., Boonstra, C., & Mank, J. (1996). *Handbook of Sustainable Building: An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment (Illustrate)*. Londres: James & James.

Argos. (2013). *Cemento gris de uso general*. Cemento Gris de Uso General, 1-2013. Retrieved from [https://www.argos.co/Media/Colombia/images/Ficha Técnica Cemento Gris de Uso General.pdf](https://www.argos.co/Media/Colombia/images/Ficha_Técnica_Cemento_Gris_de_Uso_General.pdf)

ARGOS. (2015). *ABC DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*. Retrieved from <http://grandesrealidades.argos.co/abc-del-reglamento-colombiano-de-construccion-sostenible/>

Artesanía, S. de I. para la. (2014). *No TitiFibras vegetales: elemento básico de las artesanías*. Retrieved from [http://www.artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/C\\_noticias/fibras-vegetales-elemento-basico-de-las-artesantias\\_5079](http://www.artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/C_noticias/fibras-vegetales-elemento-basico-de-las-artesantias_5079)

Barbosa, M. (2013). *PISOS DE CONCRETO ESTAMPADO PARA ESPACIOS URBANOS CONTEMPORÁNEOS*. Argos 360° En Concreto, 1. Retrieved from <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pisos-de-concreto-espacios-urbanos-contemporaneos>

- Bedoya, C. M. (2011). *Construcción Sostenible, Para volver al Camino*. (B. J. Diké, Ed.). Medellín, Colombia.
- Cabello, F. J. A. (2008, June). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. Medio Ambiente Y Derecho N° 17, 1. Retrieved from [http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03\\_materiales.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html)
- CAMACOL. (2015). *Camacol respalda la adopción del Reglamento de Construcción Sostenible*. Retrieved from <http://camacol.co/noticias/camacol-respalda-la-adopci%C3%B3n-del-reglamento-de-construcci%C3%B3n-sostenible>
- Cantu, M., Maciel, M., Mangino, M., Planas, A., Romero, C., & Sánchez, R. (2014). *Coffee Block*. Universidad Autónoma de México, 25. Retrieved from <http://www.feriadelasciencias.unam.mx>
- Carvajal, M. J. E. (2015). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sih&AN=SN091317&site=ehost-live>
- Cementos Argos S.A. (2010). *Acabados en concreto arquitectónico*, 136. Retrieved from [http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2016/04/acabados\\_en\\_concreto\\_arquitectonico.pdf](http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2016/04/acabados_en_concreto_arquitectonico.pdf)
- Coffea. (2005). *La cascarilla de café como materia prima para elaborar papel*. Universidad Nacional Autónoma de México, 1–13. Retrieved from [http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria18/CT\\_L\\_IE/La\\_cascarilla\\_de\\_cafe\\_como\\_mater.pdf](http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria18/CT_L_IE/La_cascarilla_de_cafe_como_mater.pdf)
- Diego Sánchez De Guzmán. (2011). *Tecnología del concreto (Tercera)*. Bogotá, Colombia.
- DIFICONSA. (n.d.). *Sobre las fibras para concreto*. Retrieved from <https://www.dificonsa.com/sobre-las-fibras-para-concreto/>
- Estañol, M. P. (2006, September). *El color del concreto*. Construcción Y Tecnología - IMCYC, 24–29. Retrieved from <http://www.imcyc.com/revistact06/sept06/TECNOLOGIA.pdf>
- FHWA. (1994). *High performance Concretes. State-of-Art Report 1989-1994*. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov>
- García, C. D., & Olaya, J. M. (2011). *Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café*. Ingeniería E Investigación, 51–56.
- Gómez, J. S. (2009). *DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA NATURAL PARA SUSTITUIR LA UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO*. Universidad EAFIT. Retrieved from [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/297/JoseSantiago\\_GomezP.\\_2009.pdf;jses](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/297/JoseSantiago_GomezP._2009.pdf;jses)

- Gram, H. E. (1983). *Durability of natural fibres in concrete*.
- Guerrero, D. H. (2013). Eficiencia , Seguridad y Sustentabilidad para Zonas de. *Guanajuato*. Retrieved from [https://www.academia.edu/8091524/CONCRETO\\_PREFABRICADO](https://www.academia.edu/8091524/CONCRETO_PREFABRICADO)
- Guzmán, D. S. de. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MORTERO*. (B. Editores, Ed.) (Quinta edi). Pontificia Universidad Javeriana.
- Imcyc, I. M. D. C. Y. E. C. (2007). *Concreto reforzado con fibras*. *El Concreto En La Obra: Problemas, Causas Y Soluciones*, 70. <http://doi.org/DCT-VO-194-08/2014>
- INFOREGIÓN. (2007). *Impulsan el reciclado de residuos para fabricar materiales de construcción*. Retrieved from <http://www.inforegion.com.ar/vernota.php?tipo=N&idPub=56646&id=133763&dis=1&sec=1>
- La Sostenibilidad, un desafío desde la semilla a la taza*. (2012). Federacion Colombiana de Cafeteros de Colombia, 148. Retrieved from [http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sostenibilidad\\_en\\_accion/](http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sostenibilidad_en_accion/)
- Macías, M., & García Navarro, J. (2010). *Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios*. *Informes de La Construcción*, 62(517), 87–100. <http://doi.org/10.3989/ic.08.056>
- Manejo de Desechos Agroindustriales*. (2015). Retrieved from <https://dedyxd.wordpress.com/>
- Manrique Waldo, R. J. (2018). *Estudio de la Combustión de Pélet de Cisco de Café*, 85. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/69757/1/1152186564.2018.pdf>
- Manzini, E., & Bigues, J. (2000). *Ecología y democracia: De la injusticia ecológica a la democracia ambiental (ICARIA)*.
- Martín A. Ceballos Arana. (2016, August). *Importancia Del Concreto Como Material De Construcción*. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 24–25. Retrieved from <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/agosto2016/experto.pdf>
- Mayorga, I. M. (n.d.). *División de Estrategia y Proyectos Especiales*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Vademecun , 1–290.
- Medina, M. A. (2014, September 28). *Industria cementera cada vez más fuerte*. *El Espectador*, p. 1. Bogotá, Colombia. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/economia/industria-cementera-cada-vez-mas-fuerte-articulo-519468>
- Mejia, A. E. (2013, February). *Metro tendrá suelos de cascarilla café*, 1. Retrieved from [http://www.elmundo.com/portal/noticias/movilidad/metro\\_tendra\\_suelos\\_de\\_cascarilla\\_de\\_cafe.php#.WNHCCPk1\\_IU](http://www.elmundo.com/portal/noticias/movilidad/metro_tendra_suelos_de_cascarilla_de_cafe.php#.WNHCCPk1_IU)
- Mercado, J. S. (2012). *Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción*. Retrieved from <http://slideplayer.es/slide/149414/#>

- Ministerio de Minas. (2016). *Política Minera De Colombia*, 62. <http://doi.org/10.1080/08831157.2012.626378>
- MINVIVIENDA. (2015). *Colombia puso en marcha su nueva reglamentación de construcción sostenible*. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/julio/colombia-puso-en-marcha-su-nueva-reglamentacion-de-construccion-sostenible>
- Monterotti, C. (2013). Análisis y propuesta sobre la contribución de las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios a su eficiencia ambiental. *Universidad Politécnica de Catalunya*. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/handle/10803/116445>
- Muerza, A. F. (2009, May). *Por qué hay que proteger las fibras naturales*. Eroski Consumer, 3. Retrieved from [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/naturaleza/2009/05/28/185603.php?page=3](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2009/05/28/185603.php?page=3)
- Neville, A. (1999). *Tecnología del concreto*. Sika, 1–2. Retrieved from [http://imcyc.com/redcyc/imcyc/biblioteca\\_digital/TECNOLOGIA\\_DEL\\_CONCRETO.pdf](http://imcyc.com/redcyc/imcyc/biblioteca_digital/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO.pdf)
- Novas, J. A. (2010). *Sistemas Constructivos Prefabricados Aplicables a La Construcción De Edificaciones En Países En Desarrollo*. IEEE Transactions on Education. *Universidad Politecnica de Madrid*. Retrieved from [http://oa.upm.es/4514/1/TESIS\\_MASTER\\_JOEL\\_NOVAS\\_CABRERA.pdf](http://oa.upm.es/4514/1/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf)
- Olga Segovia; Hernán Neira B. Doctor. (2005). *ESPACIOS PÚBLICOS URBANOS: UNA CONTRIBUCIÓN A LA IDENTIDAD Y CONFIANZA SOCIAL Y PRIVADA*. *Revista Invi*, 1. Retrieved from <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/324/888>
- Omen, L. M. (2011). *EL CAFE*. Retrieved from <http://luzmery4htel.blogspot.com.co/2011/09/el-cafe.html>
- Ortiz, J. A. M. (2017). *IMPACTOS AMBIENTALES POR EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE*. Universitas Nusantara PGRI Kediri. *Universidad Catolica de Manizales*. Retrieved from <http://www.albayan.ae>
- Pesquer, S. N. D. E. (2013). *Ventajas Competitivas del Concreto arquitectónico*. *Noticreto*, 119, 40–44. Retrieved from [http://app.idu.gov.co/boletin\\_alejandria/septiembre2013/doc/ULTIMAS ADQUISICIONES/doc/CONCRETO.pdf](http://app.idu.gov.co/boletin_alejandria/septiembre2013/doc/ULTIMAS_ADQUISICIONES/doc/CONCRETO.pdf)
- Piqueras, V. Y. (2017, March 1). *¿Qué son y para qué sirven los encofrados?* *Universitat Politècnica de València*, p. 1. Retrieved from <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/03/01/que-son-y-para-que-sirven-los-encofrados/>
- Porter, M., & Kramer, M. (2011). *La creación de valor compartido*. *Harvard Business Review América Latina*, Enero-febr, 3–18.

- Positivo, S. (2015). *En Colombia se construyen casas con cascarilla de café*. Retrieved from <http://sentirpositivo.com/index.php?Pag=248>
- Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005). *Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café*. Organización Internacional Del Café, (942), 1–4.
- Redacción El Tiempo. (1995, May 3). *MINERÍA AFECTA AL MEDIO AMBIENTE*. El Tiempo, p. 1. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-497060>
- RIOS;, J. C. R., AGUIRRE;, M. T., & MUNERA;, D. H. (2015). *FIBRA DE CAFÉ*. Retrieved from [https://prezi.com/al9ppe\\_owe6c/fibra-de-cafe/](https://prezi.com/al9ppe_owe6c/fibra-de-cafe/)
- Rivera L, G. a. (n.d.). *Capítulo 3 agua de mezcla 3. 1, 77–82*.
- Rivera L, G. a. (2006). *Cap 2. Agregados para el Mortero o Concreto*. Concreto Simple, 41–75.
- Roque, H., & Medrano, J. (2012). "Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción." *Recinto Universitario Augusto C. Sandino - Sede Regional del Norte*. Retrieved from <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/elhigo/article/view/2239>
- Rosas Chaves, J. A. (2014). *Mobiliario urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. *Universidad Nacional de Colombia*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/47108/1/396288.2014COMPLETA.pdf>
- Salcedo Barrera, M. L. (2006). *Concreto de alto desempeño en Colombia*. (B. U. N. de C. F. de A. 2006, Ed.) (2007th ed.). Bogotá, Colombia: Punto Aparte.
- SAOV. (2018). *Norma de construcción Concretos*. EPM, 1–32. Retrieved from [https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC\\_MN\\_OC07\\_01\\_Concretos.pdf?ver=2018-02-27-132221-400](https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OC07_01_Concretos.pdf?ver=2018-02-27-132221-400)
- Saraz, J. A. O., Aristizabal, F. V., & Mejía, J. A. H. (2007, November). *Azúcar Mechanical Behavior of the Concrete Reinforced With Sugar Cane Bagasse Fibers*. Dyna, N.º 153, 69–79.
- Sierra, A. G. (2014, March). *Colombia, otra vez tercer productor mundial de café*. El País, p. 1. Cali, Valle. Retrieved from <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/colombia-otra-vez-tercer-productor-mundial-cafe>
- Silva, O. J. (2015). *FACHADAS DE CONCRETO: POSIBILIDADES ARQUITECTÓNICAS*. Retrieved from <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/innovacion-y-tendencias/fachadas-de-concreto-posibilidades-arquitectonicas>
- Stulz, R., & Mukerji, K. (1993). *Materiales de construcción apropiados (1981, SKAT)*. London: SKAT. Retrieved from <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents>

Terreros Rojas, L. E., & Carvajal Corredor, I. L. (2016). Análisis De Las Propiedades Mecánicas De Un Concreto Convencional Adicionando Fibra De Cáñamo. *Universidad Católica de Colombia*. Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN?LISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN CONCRETO CONVENCIONAL ADICIONANDO FIBRA DE CAA.pdf>

Yepes, S. M., Naranjo, L. J. M., & Sánchez, F. O. (2008). Valorización De Residuos Agroindustriales–Frutas–En Medellín Y El Sur Del Valle Del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin*, 61(1), 4422–4431. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24742>

## 8. Anexos

### 8.1. Ficha técnica ACEITE DE LINAZA REFINADO

#### Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



#### Aceite de linaza native, cold pressed

número de artículo: 9338

##### Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	(neutro)
Punto de fusión/punto de congelación	-18 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	>350 °C
Punto de inflamación	315 °C
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)
<u>Límites de explosividad</u>	
• límite inferior de explosividad (LIE)	esta información no está disponible
• límite superior de explosividad (LSE)	esta información no está disponible
Límites de explosividad de nubes de polvo	no relevantes
Presión de vapor	<1 hPa a 100 °C
Densidad	0,931 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad aparente	No es aplicable
Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	insoluble
<u>Coefficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
Temperatura de descomposición	no existen datos disponibles
Viscosidad	
• viscosidad dinámica	60 mPa s a 20 °C
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	ninguno

#### 9.2 Otros datos

Índice de refracción	1,48
----------------------	------

## 8.2. Ficha técnica CAL AGRÍCOLA



### Descripción

Es un producto que se obtiene de la piedra caliza, que por ser alcalina tiene como peculiaridad ser un poderoso desinfectante de bacterias y virus nocivos para la salud. Suaviza y clarifica el agua, elimina sustancias negativas y neutraliza los ácidos del agua, protegiendo las tuberías de la corrosión.



### Características Químicas

Oxido de Calcio Disponible CaO ...Mín. 60.0%  
Hidróxido de Calcio Disponible Ca(OH)<sub>2</sub>...Mín. 80.0%  
Oxido de Magnesio MgO..... Máx. 1.0%  
Residuos Insolubles en HCl..... Máx. 6.0%

nica

### Usos y Aplicaciones

- ✓ Corrige el pH del suelo.
- ✓ Aumenta la fertilidad del suelo.
- ✓ Aporta Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y otros nutrientes minerales.
- ✓ Permite una mejor actividad microbiológica.
- ✓ Permite que las plantas asimilen todos los nutrientes que se aplican al suelo (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, entre otros).
- ✓ Neutraliza el efecto tóxico y acidificante de algunos elementos minerales como el hierro y el aluminio.
- ✓ Mejora la estructura física, química y biológica del suelo.
- ✓ Mejora la efectividad de ciertos herbicidas.

### Cuidados

- ✓ Irritante con la piel, corrosivo, reactivo con el agua, afecta órganos como los ojos y el sistema respiratorio.
- ✓ La rotación de los sacos en las bodegas no debe ser mayor a 180 días.

<https://www.calco.com.co/wp-content/uploads/2018/09/ficha-tecnica-cal-agricola-cales-oct-222.pdf>

## 8.3. Ficha técnica HIDRÓXIDO DE CALCIO

<h1 style="margin: 0;">HIDRÓXIDO DE CALCIO</h1> <h2 style="margin: 0;">Ficha Técnica de Producto</h2>		
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Fecha de Emisión: <b>AGOSTO de 2013</b>
Nombre Químico:	<b>HIDRÓXIDO DE CALCIO</b>	Peso Molecular: <b>74.09</b>
Fórmula Química:	<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	Nombre Común: <b>Cal Hidratada</b>
Estado Físico:	<b>Sólido</b>	Fabricado en: <b>Planta SOFÍA, Km. 7.3 Carretera Progreso Ixmiquilpan Xochitlán, Hidalgo</b>
<b>CONSTITUYENTES</b>		
Sustancia de un solo componente, HIDRÓXIDO DE CALCIO, con pequeños porcentajes de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO y CO <sub>3</sub> Ca, procedentes de la materia prima caliza de carácter natural. Producto natural obtenido por la calcinación a 1200°C, aproximadamente de CO <sub>3</sub> Ca.		
<b>PROPIEDADES GENERALES</b>		
Aspecto:	Polvo granulado, de fuerte carácter higroscópico	
pH:	12,4 solución saturada a 25°C	
Peso específico:	0,470 Kgs/l a 20 °C	
<b>PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO</b>		
Granel Sacos Ton Sak		
<b>NORMATIVA:</b> <b>NMX-C-003-ONNCE-2010</b>		

<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:</b>				<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>		
Fórmula	Compuesto	Referencia	Valor Medio	Granulometrías.	Valor Medio	Método
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Calcio	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>80.0%</b>	Malla 100 µm	<b>3%</b>	NMX-C-003-ONNCE-2010
SiO <sub>2</sub>	Oxido de Sílice	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>0.50%</b>	Malla 200 µm	<b>10%</b>	NMX-C-003-ONNCE-2010
MgO	Oxido de Magnesio	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>2.00%</b>	DENSIDAD APARENTE 0.68 grs/cm. ASTM C -110-09a		
H <sub>2</sub> O	Humedad	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>&lt; 1%</b>			

**Los resultados pueden variar, dado que la materia prima es un producto natural.**

El producto HIDRÓXIDO DE CALCIO es estable a todas las temperaturas. Se puede almacenar por un periodo no superior a un mes, si se mantiene protegido del contacto de la humedad y del anhídrido carbónico del aire.

<p>ELABORA</p> <p><b>GRISELDA ESPÍNDOLA TESMAYES</b> Analista</p>	<p>APRUEBA</p> <p><b>ING. DAVID ALFARO</b> Gerente de Calidad</p>
---	---

<http://www.caldelvalle.com/pdf/ConstruccionFR.pdf>

## 8.4. Entrevista

### 1. DE QUE POBLACIÓN ES PROVENIENTE EL CAFÉ Y SU ALTITUD?

Para el caso del café que ingresa a Almacafé Sucursal Pasto, el 100% del café corresponde al departamento de Nariño, generalmente no se separa por municipio o región, sin embargo se hace separación según el tipo de café si es certificado (Rainforest, 4C, Regional, Nespresso AAA), solo en algunos negocios puntuales se puede separar por origen específico.

La mayoría de café de Nariño se produce entre los 1600 y 1900 msnm, aunque se puede encontrar café desde los 1100 metros hasta los 2300 metros. El promedio de altura es de 1765 msnm.

En Nariño 41 municipios producen café.

### 2. QUÉ TIPO DE CAFÉ ES?

El cisco proviene de trilla de diferentes tipos de café, principalmente café Regional, 4C y Nespresso. Pero no se hace separación del cisco por tipo de café.

### 3. EN QUE MES SE HACE LA SIEMBRA Y EN QUE MES SE HACE LA COSECHA?

Las etapas de café son Germinador (alrededor de 2 meses), Almacigo (6- 8 meses) y finalmente Siembra en el terreno, donde estará por 7 años aprox., tiempo al cual se renueva por zoca (cortar tallo principal a 30 cm del suelo, de donde brota una nueva planta) o siembra de una nueva planta.

El mes de siembra del germinador en Nariño generalmente es febrero.

Es decir la plántula de café se siembra en el lote definitivo entre octubre y noviembre.

### 4. PROPIEDADES GENERALES DE LA TIERRA?

*“El Café de Nariño es 100% arábico...” (es decir las variedades sembradas son de esta especie), “...sembrado a altas alturas, recolectado selectivamente y procesado por la vía húmeda en las parcelas cafeteras de los productores.*

*La ubicación de Nariño en Colombia hace de su zona cafetera un lugar sin duda especial. Estas condiciones hacen que en la Zona de Producción de Café de Nariño se presente una combinación de factores, tales como la radiación solar de 1666 horas en promedio durante el año, los ciclos de lluvia de 1866 milímetros al año, y los suelos con alto contenido de materia orgánica que hacen posible el cultivo del café a grandes alturas y temperaturas en promedio de 19.9 °C, con valores promedio máximo de 25.9 y mínima de 16°C.*

*Estos diferentes factores explican que el Café de Nariño se produzca en alturas que alcanzan hasta los 2,300 metros sobre el nivel del mar, en zonas que presentan, en promedio, temperaturas bajas comparadas con el resto de zonas cafeteras de Colombia y de buena parte del mundo. Producir café a esta altura podría ser casi imposible si el calor que se acumula durante el día en el fondo de los cañones y de los profundos valles no ascendiera en las noches para atenuar el frío de las partes más altas de las montañas.” Tomado de Cafedecolombia.com*

En este enlace se puede encontrar toda la información sobre los factores agroclimáticos de la región. <http://narino.cafedecolombia.com/narino>

### 5. CANTIDAD APROXIMADA DEL ÁREA DE CULTIVO?

38400 hectáreas sembradas en Nariño.

#### **6. A TODO TIPO DE CAFÉ SE LE RETIRA LA CASCARILLA?**

Sí. Colombia produce cafés suaves lavados, lo que significa que el grano de café se recolecta en cereza, luego en la finca es despulpado (es decir se retira la cascara o cereza), fermentado (para quitar un mucilago o baba que está prendida al pergamino que es la capa siguiente), lavado y secado (hasta que la humedad del café en pergamino seco esté entre 10 y 12%).

Posterior el productor lo lleva a vender al comercio o cooperativa. Luego se consolidan cantidades determinadas que son entregadas a Almacafé o algún otro comerciante particular para posterior ser trillado, es decir retirar el cisco de la almendra, la cual se tuesta para obtener el café tostado y molido y finalmente la bebida.

Lo anterior significa que el cisco es necesariamente retirado para poder tostar el café.

#### **7. QUE CANTIDAD APROXIMADA SE RECIBE DE CISCO ANUAL?**

El cisco no se recibe, se obtiene del proceso de trilla y depende del volumen de café pergamino seco asignado para trilla en nuestra trilladora.

El año pasado se trillaron 3 millones de kilos de café pergamino y generalmente el % de cisco corresponde a un 18% - 20%, es decir unos 500.000 kilos de cisco en el año anterior. Cifras aproximadas.

#### **8. QUE REALIZAN CON LAS CASCARILLA, QUE USOS TIENE?**

La totalidad del cisco producido se entrega para uso como combustible en silos secadores de café, que tienen los mismos productores (para secar el café en la finca el productor tiene dos opciones Secado al sol ó Mecánico es decir en silos que usan combustible como carbón coque, ACPM, gas o cisco).

Sin embargo también lo usan empresas ladrilleras en los hornos para elaborar ladrillo y tejas de barro.

También al ser un producto orgánico, puede ser incorporado a procesos de elaboración de abonos orgánicos.

#### **9. CUAL ES EL MERCADO QUE MAS SE BENEFICIA DE ESTE RESIDUO Y EL QUE MAYOR DEMANDA TIENE?**

Los Caficultores y las cooperativas, quienes lo usan como combustible. Ver punto anterior.

#### **10. SE LLEGA A BOTAR ESTE RESIDUO? PORQUE RAZÓN?**

Anteriormente, más de 20 años, se usaban en gran medida para abono orgánico, pero actualmente su uso es como combustible. Es decir no hay registro que se llegará a botar.

#### **11. LE DAN ALGÚN OTRO USO EN LA EMPRESA?**

Hasta el momento no se incorpora en ningún proceso. En algún momento hace más de 20 años se pensaba usar en construcción de planchas para casas, con colbón o pegamento, sin embargo no se llevó a cabo el proyecto.

## **12. TRABAJAN CON GRANDES CAFICULTORES O CON PEQUEÑAS FINCAS O AMBAS?**

En el departamento el 99% de los caficultores son pequeños, con un promedio de 0,98 hectáreas. Pero no hay ningún tipo de sectorización si son grandes, medianos o pequeños, ósea se trabaja con todos.

## **13. CUANTO PAGAN POR BULTO? (SI ES POSIBLE SABER EL VALOR EXACTO O PROMEDIO)**

Un bulto de cisco se vendió en promedio en 4600 pesos, partiendo de un peso promedio de 60 kilos.

## **14. DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO, QUE PORCENTAJE DE CULTIVOS LLEGAN A ALMACAFÉ**

Aproximadamente un 30 a 35% del total de la producción del departamento.  
Producción Total del Departamento = 35 millones de kilos también aproximado.

## **15. LA MAQUINA TRILLADORA FUNCIONA A GASOLINA O ES ELÉCTRICA? QUE CONSUMO PROMEDIO TIENE?**

Eléctrica, aunque tiene una planta a gasolina que funciona cuando no hay suministro de electricidad. La máquina trilladora como tal se llama Apolo 4 y funciona con un motor de 100 HP, tiene un consumo aproximado de 300Kva/hora, pero todo el sistema de trilla que incluye recibo de pergamino, trilla, monitor de almendra, mesas densimétricas, electrónicas de color y ensaque, puede tener consumir promedio 500 Kva/hora.

## **16. QUE POSICIÓN TIENE NUESTRO CAFÉ A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL?**

El café colombiano y en especial el café de Nariño tienen una excelente calidad que lo ha posicionado como uno de los mejores del mundo. Colombia ocupa el primer lugar en producción de Cafés Suaves Lavados y es el tercer productor mundial de café después de Brasil y Vietnam.

## **17. A QUE LUGARES ES EXPORTADO?**

Los destinos principales de exportación son EEUU, Europa y Japón.

## **18. A ESCUCHADO O LE HAN SOLICITADO ALGÚN RESIDUO DEL CAFÉ PARA ALGÚN TEMA RELACIONADO CON LA CONSTRUCCIÓN O PARA CREAR UN NUEVO MATERIAL?**

Solicitudes no, pero si he visto y escuchado sobre el uso del residuo de la preparación de la bebida para elaborar artesanías e incluso ropa. Hablo de la borra o Cuncho.

#### **19. CUÁL ES SU OPINIÓN ACERCA DEL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN?**

No había escuchado antes sobre este tipo de investigación, únicamente la de elaborar planchas de casas en conjunto con pegamento, lo cual me comentaron justo para responder esta encuesta.

Considero muy válida este tipo de propuestas de innovación, en la medida que sea validada desde lo comercial, se tendrá que analizar el costo, dado que el cisco es muy necesario para el caficultor en el secado del grano y al momento de competir con el mercado de la construcción seguramente se elevará el precio del mismo.

***Manuel Fernando Peña***

*Jefe de Operaciones*

*Almacafé Pasto*

*(2017).*