

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Jose Giancarlo Salvador Terrones**

**ASESOR**

**Jose Alberto Acero Martinez**

**<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>**

**Chiclayo, 2023**

**Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f'c  
210 kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón  
de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo**

PRESENTADA POR:

**Jose Giancarlo Salvador Terrones**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR:

Segundo Guillermo Carranza Cieza

PRESIDENTE

Juan Jacobo Sanchez Bautista

SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez

VOCAL

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres José Linares y María Bereni, quienes han sido mi inspiración y apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria académica. Su amor, dedicación y sacrificio han sido fundamentales para mi éxito y logros. A través de su constante aliento y ejemplo, me han enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la determinación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la meta de completar mis estudios. Sus bendiciones y guía han sido fundamentales en este camino. Agradezco a mis padres desde lo más profundo de mi corazón por brindarme esta oportunidad y por ser mi fuente inagotable de inspiración. A mi asesor, el Ing. José Alberto Acero Martínez por su orientación experta y constante apoyo a lo largo de este proyecto de investigación. Finalmente, quiero expresar mi profundo agradecimiento a aquellas personas que me brindaron su apoyo incondicional durante todo el proceso de esta investigación, en especial a Efreén y Anderson.

## Tesis Final\_3

### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

11%

2

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[tesis.usat.edu.pe](https://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorio.uss.edu.pe](https://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

6

[repositorio.uns.edu.pe](https://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[repositorio.urp.edu.pe](https://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

9

[repositorio.utea.edu.pe](https://repositorio.utea.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

## Índice

Resumen .....	27
Abstract .....	28
Introducción .....	29
Revisión de literatura .....	34
Antecedentes del problema .....	34
Bases teórico-científicas.....	39
Producción y propiedades del biocarbón .....	39
Influencia del biocarbón en las propiedades del Concreto Fresco.....	42
Influencia del biocarbón en las propiedades del Concreto Endurecido .....	42
Ensayos de acuerdo con la Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y ASTM .....	44
Materiales y métodos .....	66
Método, tipo, nivel de la investigación e hipótesis .....	66
Método de investigación .....	66
Tipo de investigación .....	66
Nivel de investigación.....	66
Hipótesis.....	67
Diseño de investigación .....	67
Población, muestra y muestreo .....	69
Población.....	69
Muestra.....	69
Muestreo.....	69
Criterios de selección .....	77
Selección del Agregado fino y agregado grueso.....	77
Selección del Biocarbón de restos de madera .....	77
Operacionalización de variables .....	82
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	83
Procedimientos.....	84
Procedimiento para llevar a cabo los ensayos de los agregados .....	84

Procedimiento para la aplicación del biocarbón .....	89
Procedimiento para llevar a cabo los ensayos al concreto en estado fresco .....	91
Procedimiento para llevar a cabo los ensayos al concreto en estado endurecido .....	95
Plan de procesamiento.....	99
Matriz de consistencia.....	100
Consideraciones éticas .....	101
Resultados .....	102
Resultados de los ensayos del agregado fino .....	102
Granulometría por tamizado .....	102
Peso unitario suelto y compactado.....	103
Contenido de humedad.....	104
Peso específico y absorción .....	105
Resultados de los ensayos del agregado grueso .....	105
Granulometría por tamizado .....	105
Peso unitario suelto y compactado.....	106
Contenido de humedad.....	107
Peso específico y absorción .....	107
Resultados de los ensayos del concreto en estado fresco.....	108
Resultados del ensayo de asentamiento (slump).....	108
Resultados del peso Unitario del concreto .....	109
Resultados del ensayo de exudación .....	110
Resultados del ensayo de tiempo de fraguado .....	115
Resultados de los ensayos del concreto en estado endurecido.....	121
Resultados del ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto .....	121
Resultados del ensayo a flexión del concreto .....	132
Resultados del ensayo de módulo de elasticidad .....	136
Resultados del ensayo de fisuración .....	138
Resultados del ensayo de peso específico del Biocarbón .....	143
Resultados del análisis químico (difracción de rayos x) del biocarbón.....	143
Discusión.....	145
Asentamiento del concreto.....	145

Exudación del concreto .....	146
Tiempo de fraguado .....	146
Resistencia a compresión .....	147
Resistencia a la flexión.....	151
Modulo de elasticidad .....	152
Fisuración.....	153
Evaluación económica.....	154
Conclusiones .....	159
Recomendaciones.....	162
Referencias .....	163
Anexos.....	169
Evaluación de Impacto Ambiental .....	169
Resumen ejecutivo .....	169
Objetivos .....	169
Alcances .....	170
Marco legal .....	170
Descripción y análisis del proyecto .....	172
Área de influencia del proyecto .....	175
Línea Base Ambiental.....	176
Identificación y evaluación de impactos ambientales .....	179
Plan de manejo ambiental .....	184
Conclusiones de la Evaluación de Impacto Ambiental.....	189
Recomendaciones de la Evaluación de Impacto Ambiental .....	190

## Lista de Tablas

Tabla 1: Tipo de pirolisis según las condiciones de procesos y productos .....	40
Tabla 2: Diferentes tipos de materias primas afectadas por distintos tipos de pirolisis.....	41
Tabla 3: Aplicación del biocarbón en diferentes tipos de concreto .....	43
Tabla 4: Abertura de tamiz para A.grueso .....	44
Tabla 5: Abertura de tamiz para agregado fino.....	45
Tabla 6: Límites granulométricos del agregado fino .....	45
Tabla 7: Mínima cantidad requerida de la muestra de agregado grueso o total.....	46
Tabla 8: Límites granulométrico del A. grueso.....	46
Tabla 9: Cantidad mínima requerido para el ensayo de contenido de humedad del A. grueso	47
Tabla 10: Dimensiones del molde del cono de Abrams.....	52
Tabla 11: Requisitos químicos .....	66
Tabla 12: Clasificación de los grupos experimentales y del grupo de control.....	68
Tabla 13: Componentes del diseño de investigación .....	68
Tabla 14: Muestra del ensayo de asentamiento.....	70
Tabla 15: Muestra del ensayo de peso unitario de mezcla.....	70
Tabla 16: Muestra del ensayo de exudación .....	71
Tabla 17: Muestra del ensayo de tiempo de fraguado.....	72
Tabla 18: Especímenes para el ensayo de resistencia a compresión del concreto sometido a curado húmedo .....	73
Tabla 19: Especímenes para el ensayo de resistencia a compresión del concreto sometido a curado al aire libre.....	73
Tabla 20: Especímenes para el ensayo de resistencia a flexión del concreto sometido a curado húmedo.....	74
Tabla 21: Especímenes para el ensayo de resistencia a flexión del concreto sometido a curado al aire libre.....	74
Tabla 22: Especímenes para el ensayo de módulo de elasticidad del concreto .....	75
Tabla 23: Especímenes para el ensayo de fisuración .....	75
Tabla 24: Operacionalización de variables .....	82

Tabla 25: Métodos, Técnicas e instrumentos .....	83
Tabla 26: Matriz de consistencia.....	100
Tabla 27: Caracterización de la distribución de tamaños del A. fino .....	102
Tabla 28: Peso unitario suelto del A. Fino .....	103
Tabla 29: Peso unitario compactado del A. Fino .....	104
Tabla 30: Nivel de humedad del A. fino .....	104
Tabla 31: Peso específico y absorción del A. Fino .....	105
Tabla 32: Caracterización de la distribución de tamaños del A. grueso .....	105
Tabla 33: Peso unitario suelto del A. Grueso .....	106
Tabla 34: Peso unitario compactado del A. Grueso .....	106
Tabla 35: Contenido de humedad del A. Grueso .....	107
Tabla 36: Peso específico y absorción del A. Grueso .....	107
Tabla 37: Medición de slump del concreto de referencia y del concreto con biocarbón .....	108
Tabla 38: Peso unitario del concreto patrón y concreto con biocarbón .....	109
Tabla 39: Prueba de exudación del concreto patrón .....	110
Tabla 40: Prueba de exudación del GEB al 1% .....	111
Tabla 41: Prueba de exudación del GEB al 2% .....	112
Tabla 42: Prueba de exudación del GEB al 2.5% .....	113
Tabla 43: Resumen del ensayo de exudación de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón .....	114
Tabla 44: Tiempo de fraguado del concreto patrón .....	115
Tabla 45: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 1%.....	116
Tabla 46: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2%.....	117
Tabla 47: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2.5%.....	118
Tabla 48: Tiempo de fraguado (resumen) .....	119
Tabla 49: Ensayos a compresión de probetas cilíndricas .....	121
Tabla 50: Prueba a compresión a los 7 días .....	123
Tabla 51: Prueba a compresión a los 14 días .....	124

Tabla 52: Prueba a compresión a los 28 días .....	125
Tabla 53: Prueba a compresión a los 56 días .....	126
Tabla 54: Progreso de la resistencia del concreto patrón .....	127
Tabla 55: Progreso de la resistencia del GEB al 1% .....	128
Tabla 56: Progreso de la resistencia del GEB al 2% .....	129
Tabla 57: Progreso de la resistencia del GEB al 2.5% .....	130
Tabla 58: Prueba de flexión a los 7 días.....	133
Tabla 59: Prueba de flexión a los 28 días.....	134
Tabla 60: Prueba de flexión a los 56 días.....	135
Tabla 61: Modulo de elasticidad de la muestra patrón y la muestra con biocarbón .....	136
Tabla 62: Ancho de fisura de panel 1 del concreto patrón.....	138
Tabla 63: Ancho de fisura de panel 2 del concreto patrón.....	138
Tabla 64: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 1% .....	139
Tabla 65: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 1% .....	139
Tabla 66: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 2% .....	140
Tabla 67: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 2% .....	140
Tabla 68: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 2.5% .....	141
Tabla 69: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 2.5% .....	141
Tabla 70: Promedio de fisuras.....	142
Tabla 71: Peso específico del biocarbón .....	143
Tabla 72: Análisis de composición química del biocarbón.....	143
Tabla 73: Análisis de composición química del biocarbón expresado en óxidos.....	144
Tabla 74: Fraguado inicial ha Fraguado final .....	147
Tabla 75: Comparación de resistencia a compresión en porcentajes a los 28 días de diversas investigaciones que trabajaron con Biocarbón.....	148
Tabla 76: Resumen módulo de elasticidad.....	152
Tabla 77: Precio unitario del concreto convencional $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	154
Tabla 78: Precio unitario del concreto con Biocarbon al 1% .....	155

Tabla 79: Precio unitario del concreto con biocarbón al 2% .....	156
Tabla 80: Precio unitario del concreto con biocarbón al 2.5% .....	157
Tabla 81: Resumen de los precios unitarios por m <sup>3</sup> .....	157
Tabla 82: Equipo interdisciplinario para la elaboración de la EIA .....	172
Tabla 83: Entidad encargada de elaborar la EIA.....	172
Tabla 84: Cuadro de temperaturas .....	177
Tabla 85: Identificación de Impactos Ambientales.....	181
Tabla 86: Matriz de Leopold.....	182
Tabla 87:Componente más frágil .....	183
Tabla 88: Acción más agresiva .....	183
Tabla 89: Principales residuos generados en el proyecto.....	184
Tabla 90: Nivel máximo permisible de emisiones sonoras.....	188

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Caracterización de la distribución de tamaños del A. fino .....	103
Gráfico 2: Caracterización de la distribución de tamaños del A. grueso .....	106
Gráfico 3: Medición de slump del concreto de referencia y del concreto con biocarbón.....	108
Gráfico 4: Peso unitario del concreto patrón y concreto con biocarbón .....	109
Gráfico 5: Prueba de exudación del concreto patrón .....	110
Gráfico 6: Prueba de exudación del GEB al 1% .....	111
Gráfico 7: Prueba de exudación del GEB al 2% .....	112
Gráfico 8: Prueba de exudación del GEB al 2.5% .....	113
Gráfico 9: Resumen del volumen de exudación de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón .....	114
Gráfico 10: Resumen del porcentaje de agua neta acumulada de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón .....	115
Gráfico 11: Tiempo de fraguado del concreto patrón .....	116
Gráfico 12: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 1% .....	117
Gráfico 13: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2% .....	118
Gráfico 14: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2.5% .....	119
Gráfico 15: Tiempo de fraguado Inicial .....	120
Gráfico 16: Tiempo de fraguado final.....	120
Gráfico 17: Prueba a compresión a los 7 días .....	123
Gráfico 18: Prueba a compresión a los 14 días .....	124
Gráfico 19: Prueba a compresión a los 28 días .....	125
Gráfico 20: Prueba a compresión a los 56 días .....	126
Gráfico 21: Progreso de la resistencia del concreto patrón .....	127
Gráfico 22: Progreso de la resistencia del GEB al 1% .....	128
Gráfico 23: Progreso de la resistencia del GEB al 2% .....	129
Gráfico 24: Progreso de la resistencia del GEB al 2.5% .....	130

Gráfico 25: Progreso de resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con biocarbón.....	131
Gráfico 26: Prueba de flexión a los 7 días .....	134
Gráfico 27: Prueba de flexión a los 28 días .....	135
Gráfico 28: Prueba de flexión a los 56 días .....	136
Gráfico 29: Modulo de elasticidad del concreto convencional y con biocarbón .....	137
Gráfico 30: Promedio de fisuras a las 24 Horas .....	142
Gráfico 31: Comparación de resistencia a compresión en porcentajes a los 28 días de diversas investigaciones que trabajaron con Biocarbón.....	149
Gráfico 32: Resumen de los precios unitarios por m <sup>3</sup> .....	158
Gráfico 33: Temperatura máxima y mínima en Chiclayo.....	177

## Lista de figuras

Figura 1: Cono de Abrams .....	52
Figura 2: Margen de tiempo permitido para el ensayo de compresión. ....	59
Figura 3: Variantes de fallos en la prueba de compresión .....	59
Figura 4: Medidas del molde para la prueba de fisuración .....	62
Figura 5: Resumen de muestras .....	76
Figura 6: Proceso de fabricación del Biocarbón o Biochar.....	79
Figura 7: Tesista en la Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos.....	79
Figura 8: Tesista y el Ingeniero encargado de la producción de Biochar .....	79
Figura 9: Horno pirolítico y ramas secas que pasaran a convertirse en Biocarbón .....	79
Figura 10: Biocarbón después del proceso de pirolisis .....	79
Figura 11: Molino utilizado para triturar el biocarbón.....	81
Figura 12: Biocarbón sin proceso de molienda.....	81
Figura 13: Biocarbón pasado por el molino manual .....	81
Figura 14: Biocarbón puesto al horno .....	81
Figura 15: Tesista tamizando el biocarbón .....	81
Figura 16: Biocarbón tamizado por la malla N° 50 .....	81
Figura 17: Tesista anotando el peso de la muestra de agregado fino.....	84
Figura 18: Tesista con tamices del agregado fino .....	84
Figura 19: Muestra de agregado fino .....	84
Figura 20: Tesista realizando ensayo granulométrico.....	85
Figura 21: Cuarteo del agregado grueso .....	85
Figura 22: Tamices para el ensayo de agregado grueso.....	85
Figura 23: Dejando los agregados al horno.....	86
Figura 24: Tesista sacando los agregados del horno .....	86
Figura 25: Agregado fino .....	86
Figura 26: Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino .....	87

Figura 27: Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso .....	87
Figura 28: Peso unitario compactado del agregado fino .....	87
Figura 29: Ensayo del peso unitario compactado del agregado grueso .....	87
Figura 30: Muestra de agregado fino después de asentarse las partículas .....	88
Figura 31: Ensayo de peso específico del agregado fino .....	88
Figura 32: Agregado fino retirado del horno .....	88
Figura 33: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso .....	89
Figura 34: Canastilla para el ensayo de peso específico y absorción.....	89
Figura 35: Tesista agregando biocarbón a la mezcla .....	90
Figura 36: Tamizando el biocarbón .....	90
Figura 37: Biocarbón añadiéndose a la mezcla .....	90
Figura 38: Determinación del peso específico del biocarbón .....	91
Figura 39: Biocarbón en reposo para enfriarse .....	91
Figura 40: Tesista midiendo el asentamiento del concreto .....	91
Figura 41: Ensayo de asentamiento.....	91
Figura 42: Peso del molde.....	92
Figura 43: Peso del molde más la mezcla .....	92
Figura 44: Medición del agua exudada .....	93
Figura 45: Ensayo de exudación de la muestra patrón y las dosificaciones con biocarbon.....	93
Figura 46: Tesista agregando biocarbón a la mezcladora .....	93
Figura 47: tamizando la mezcla por la malla N° 4.....	94
Figura 48: Procedimiento para el ensayo de tiempo de fraguado .....	94
Figura 49: Tomando lectura del resultado.....	94
Figura 50: Lectura de tiempo de fraguado .....	94
Figura 51: Vaciado de probetas y vigas de concreto.....	95
Figura 52: Probetas cilíndricas dentro de la piscina de curado .....	95
Figura 53: Desencofrado de vigas y probetas .....	95

Figura 54: Curado de probetas y vigas de concreto .....	95
Figura 55: Rotura de probetas cilíndricas .....	96
Figura 56: Ensayo de resistencia a compresión .....	96
Figura 57: Compresómetro.....	97
Figura 58: Tesista ensayando el módulo de elasticidad del concreto con biocarbon al 2.5% .	97
Figura 59: Probeta junto al compresometro .....	97
Figura 60: Ensayo de rotura a flexión de vigas .....	97
Figura 61: Rotura de vigas de concreto.....	97
Figura 62: Tesista vaciando la mezcla hacia el molde .....	98
Figura 63: Tesista tomando lectura de la temperatura del concreto en estado fresco .....	98
Figura 64: Concreto patrón y biocarbon del 1% .....	98
Figura 65: Tesista realizando las medidas de las fisuras.....	98
Figura 66: Plano de ubicación y límites del distrito de Magdalena .....	173
Figura 67: Ubicación de planta de Compostaje de Municipalidad Magdalena del Mar .....	173
Figura 68: Departamento de Lambayeque .....	174
Figura 69: Área de influencia directa .....	175
Figura 70: Área de influencia indirecta.....	176
Figura 71: Colores de los dispositivos de almacenamiento .....	185
Figura 72: Planta de producción de biocarbón.....	260
Figura 73: Ramas de gran tamaño sacadas del horno pirolítico.....	260
Figura 74: Secado del biocarbón al aire libre.....	260
Figura 75: Biocarbón despues de ser molido .....	260
Figura 76: Tesista tamizando el biocarbón .....	260
Figura 77: Agregando porcentaje de biocarbón a la mezcla de concreto.....	260
Figura 78: Asentamiento del concreto patrón .....	261
Figura 79: Asentamiento del GEB del 1% .....	261
Figura 80: Asentamiento del GEB del 2% .....	261

Figura 81: Asentamiento del GEB del 2.5% .....	261
Figura 82: Peso unitario del concreto patrón .....	262
Figura 83: Peso unitario del GEB al 1% .....	262
Figura 84: Peso unitario del GEB al 2% .....	262
Figura 85: Peso unitario del GEB al 2.5% .....	262
Figura 86: Tesista realizando el ensayo de exudación .....	263
Figura 87: Tomando medidas del agua exudada de la mezcla.....	263
Figura 88: Exudación de la mezcla del concreto patrón y muestra con biocarbón.....	263
Figura 89: Tamizado de la mezcla de concreto.....	264
Figura 90: Penetración de la aguja al concreto .....	264
Figura 91: Tesista agregando biocarbón a la mezcladora de concreto.....	264
Figura 92: Acomodando la aguja que penetre de manera vertical la mezcla.....	264
Figura 93: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (1).....	265
Figura 94: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (2).....	265
Figura 95: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (3).....	265
Figura 96: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (1).....	265
Figura 97: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (2).....	266
Figura 98: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (3).....	266
Figura 99: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (1).....	266
Figura 100: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (2).....	266
Figura 101: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (3).....	267
Figura 102: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (1).....	267
Figura 103: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (2).....	267
Figura 104: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (3).....	267
Figura 105: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 1% (1) .....	268
Figura 106: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 1% (2) .....	268
Figura 107: Falla del concreto a los 7 días para el GEB al 1% (2) .....	268

Figura 108: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (1) .....	268
Figura 109: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (2) .....	269
Figura 110: Falla del concreto a los 14 días para el GEB al 1% (3) .....	269
Figura 111: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (1) .....	269
Figura 112: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (2) .....	269
Figura 113: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (3) .....	270
Figura 114: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 1% (1) .....	270
Figura 115: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 1% (2) .....	270
Figura 116: Falla del concreto a los 56 días para el GEB al 1% (3) .....	270
Figura 117: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2% (1) .....	271
Figura 118: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2% (2) .....	271
Figura 119: Falla del concreto a los 7 días para el GEB al 2% (2) .....	271
Figura 120: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (1) .....	271
Figura 121: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (2) .....	272
Figura 122: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (3) .....	272
Figura 123: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (1) .....	272
Figura 124: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (2) .....	272
Figura 125: Falla del concreto a los 28 días para el GEB al 2% (3) .....	273
Figura 126: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2% (1) .....	273
Figura 127: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2% (2) .....	273
Figura 128: Falla del concreto a los 56 días para el GEB al 2% (3) .....	273
Figura 129: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (1) .....	274
Figura 130: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (2) .....	274
Figura 131: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (3) .....	274
Figura 132: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (1) .....	274
Figura 133: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (2) .....	275
Figura 134: Falla del concreto a los 14 días para el GEB al 2.5% (3) .....	275

Figura 135: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (1) .....	275
Figura 136: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (2) .....	275
Figura 137: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (3) .....	276
Figura 138: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (1) .....	276
Figura 139: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (2) .....	276
Figura 140: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (3) .....	276
Figura 141: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (1).....	277
Figura 142: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (2).....	277
Figura 143: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (3).....	277
Figura 144: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (1).....	277
Figura 145: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (2).....	278
Figura 146: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (3).....	278
Figura 147: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (1) .....	278
Figura 148: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (2) .....	278
Figura 149: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (1) .....	279
Figura 150: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (2) .....	279
Figura 151: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (1) .....	279
Figura 152: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (2) .....	279
Figura 153: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (1) .....	280
Figura 154: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (2) .....	280
Figura 155: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (3) .....	280
Figura 156: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (1) .....	281
Figura 157: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (2) .....	281
Figura 158: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (1) .....	281
Figura 159: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (2) .....	281
Figura 160: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (3) .....	282
Figura 161: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (1).....	282

Figura 162: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (2).....	282
Figura 163: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (3).....	282
Figura 164: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (1).....	283
Figura 165: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (2).....	283
Figura 166: Falla de viga a los 28 días para el concreto patrón (2) .....	283
Figura 167: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 1% (1) .....	283
Figura 168: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 1% (2) .....	283
Figura 169: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 1% .....	283
Figura 170: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (1) .....	284
Figura 171: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (2) .....	284
Figura 172: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 1% .....	284
Figura 173: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 1% (1) .....	284
Figura 174: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 1% (2) .....	284
Figura 175: Falla de viga a los 56 días para el GEB al 1% .....	284
Figura 176: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2% (1) .....	285
Figura 177: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2% (2) .....	285
Figura 178: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 2% .....	285
Figura 179: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (1) .....	285
Figura 180: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (2) .....	285
Figura 181: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (1) .....	285
Figura 182: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (2) .....	286
Figura 183: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (3) .....	286
Figura 184: Falla de viga a los 56 días para el GEB al 2% .....	286
Figura 185: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2.5% (1) .....	286
Figura 186: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2.5% (2) .....	286
Figura 187: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 2.5% .....	286
Figura 188: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (1) .....	287

Figura 189: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (2) .....	287
Figura 190: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2.5% (1) .....	287
Figura 191: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2.5% (2) .....	287
Figura 192: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (1).....	288
Figura 193: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (2).....	288
Figura 194: Falla de viga a los 28 días para el concreto patrón .....	288
Figura 195: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (1) .....	288
Figura 196: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (2) .....	288
Figura 197: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 1% .....	288
Figura 198: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (1) .....	289
Figura 199: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (2) .....	289
Figura 200: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (1) .....	289
Figura 201: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (2) .....	289
Figura 202: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 2.5% .....	289
Figura 203: Módulo de elasticidad del concreto patrón a los 28 días .....	290
Figura 204: Módulo de elasticidad del GEB al 1% a los 28 días.....	290
Figura 205: Módulo de elasticidad del GEB al 2% a los 28 días.....	290
Figura 206: Módulo de elasticidad del GEB al 2.5% a los 28 días.....	290
Figura 207: Ancho de grieta a las 22 horas del panel 1 del concreto patrón .....	291
Figura 208: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del concreto patrón .....	291
Figura 209: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del concreto patrón .....	291
Figura 210: Tesista junto al panel 1 del concreto patrón .....	291
Figura 211: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 1% .....	292
Figura 212: Ancho de grieta a las 22 horas del panel 1 del GEB al 1% .....	292
Figura 213: Tesista tomando lectura de la velocidad del viento .....	292
Figura 214: Tesista junto a los paneles 1 y 2 del GEB al 1% .....	292
Figura 215: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2% .....	293

Figura 216: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del GEB al 2% .....	293
Figura 217: Tesista junto al panel 1 y 2 del GEB al 2% .....	293
Figura 218: Tesista midiendo la grieta del panel 2 del GEB al 2% .....	293
Figura 219: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del GEB al 2.5% .....	294
Figura 220: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2.5% (1).....	294
Figura 221: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2.5% (2).....	294
Figura 222: Tesista junto midiendo la grieta del panel 2 del GEB al 2.5% .....	294

## Lista de anexos

Anexo 1: Elaboración de diseño de mezclas por el método del Comité 211-ACI.....	191
Anexo 2: Ficha técnica de cemento Pórtland tipo 1.....	201
Anexo 3: Validación de ensayos de laboratorio (1) .....	202
Anexo 4: Validación de ensayos de laboratorio (2) .....	203
Anexo 5: Certificación de ensayos de laboratorio FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C .....	204
Anexo 6: Certificados de calibración .....	205
Anexo 7: Certificación de ensayos de LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L .....	219
Anexo 8: Certificados de calibración .....	220
Anexo 9: Informe del análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe.....	227
Anexo 10: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe.....	228
Anexo 11: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe .....	229
Anexo 12: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe.....	230
Anexo 13: Informe del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.....	231
Anexo 14: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.....	232
Anexo 15: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.....	233
Anexo 16: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo .....	234
Anexo 17: Informe del ensayo de exudación del concreto patrón .....	235
Anexo 18: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 1% .....	236
Anexo 19: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 2% .....	237
Anexo 20: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 2.5% .....	238

Anexo 21: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto patrón .....	239
Anexo 22: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 1% .....	240
Anexo 23: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 2% .....	241
Anexo 24: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 2.5% ....	242
Anexo 25: Informe del ensayo de compresión del concreto patrón .....	243
Anexo 26: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 1% .....	244
Anexo 27: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 2% .....	245
Anexo 28: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 2.5% .....	246
Anexo 29: Informe del ensayo de flexión del concreto patrón .....	247
Anexo 30: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 1% .....	248
Anexo 31: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 2% .....	249
Anexo 32: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 2.5% .....	250
Anexo 33: Informe del ensayo de módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con biocarbón.....	251
Anexo 34: Informe del ensayo de fisuración del concreto patrón.....	252
Anexo 35: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 1% .....	253
Anexo 36: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 2% .....	254
Anexo 37: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 2.5% .....	255
Anexo 38: Informe del ensayo de densidad del biocarbón .....	256
Anexo 39: Análisis de composición química del biocarbón .....	257
Anexo 40: Evidencia visual del proceso de extracción del biocarbón.....	260
Anexo 41: Evidencia visual del asentamiento del concreto .....	261
Anexo 42: Evidencia visual de peso unitario del concreto .....	262
Anexo 43: Evidencia visual del ensayo de exudación del concreto.....	263
Anexo 44: Evidencia visual del tiempo de fraguado del concreto .....	264
Anexo 45: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto patrón con curado húmedo .....	265

Anexo 46: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 1% con curado húmedo .....	268
Anexo 47: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2% con curado húmedo .....	271
Anexo 48: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado húmedo .....	274
Anexo 49: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto patrón con curado al aire libre.....	277
Anexo 50: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 1% con curado al aire libre. ....	278
Anexo 51: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2% con curado al aire libre. ....	279
Anexo 52: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado al aire libre. ....	281
Anexo 53: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto patrón con curado húmedo.....	282
Anexo 54: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 1% con curado húmedo. ....	283
Anexo 55: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2% con curado húmedo .....	285
Anexo 56: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado húmedo. ....	286
Anexo 57: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto patrón con curado al aire libre.....	288
Anexo 58: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 1% con curado al aire libre. ....	288
Anexo 59: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2% con curado al aire libre.....	289
Anexo 60: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado al aire libre.....	289
Anexo 61: Evidencia visual del módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con biocarbón.....	290
Anexo 62: Evidencia visual de fisuración del concreto patrón.....	291
Anexo 63: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 1% .....	292
Anexo 64: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 2% .....	293

Anexo 65: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 2.5% ..... 294

## Resumen

La industria del cemento es reconocida como una de las principales fuentes de liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo cual representa un grave problema ambiental. Por esta razón, en este estudio se ha explorado una alternativa de solución al utilizar biocarbón de residuos de madera en la producción de concreto. El objetivo de esta investigación es mejorar las propiedades de resistencia del concreto mediante la sustitución parcial del cemento con biocarbón en niveles de 1%, 2% y 2.5% en peso. Se realizaron diversos ensayos de resistencia a la compresión, flexión, módulo de elasticidad y fisuración, tanto con condiciones de curado húmedo como al aire libre, en intervalos de 7, 14, 28 y 56 días. Los resultados demostraron que el concreto con biocarbón presentó mejoras significativas en la resistencia a la compresión. Específicamente, se observó un incremento del 8.17% y 16.88% en la resistencia a la compresión a los 28 días, con niveles de sustitución del 1% y 2% respectivamente. A los 56 días, se evidenció una mejora del 13.73% y 18.43% en la resistencia a la compresión, también con niveles de sustitución del 1% y 2% respectivamente. Es importante mencionar que estas mejoras fueron obtenidas con el uso de curado húmedo. Las resistencias a compresión con curado al aire libre mejoraron con respecto a la muestra patrón, sin embargo, no superaron la resistencia requerida de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. Con respecto al módulo de rotura, es decir, la resistencia a flexión fue relativamente baja con respecto a la muestra patrón.

**Palabras clave:** Biocarbón, Pirólisis, Propiedades del concreto, Curado húmedo y curado al aire libre.

### **Abstract**

The cement industry is recognized as one of the main sources of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) release, which represents a serious environmental problem. For this reason, an alternative solution using biochar from wood residues in the production of concrete has been explored in this study. The objective of this research is to improve the resistance properties of concrete by partially replacing cement with biochar at levels of 1%, 2% and 2.5% by weight. Various compressive strength, flexural, elastic modulus, and cracking tests were performed, both under moist curing conditions and in the open air, at intervals of 7, 14, 28, and 56 days. The results showed that the concrete with biochar presented significant improvements in compressive strength. Specifically, an increase of 8.17% and 16.88% was observed in compressive strength at 28 days, with substitution levels of 1% and 2% respectively. At 56 days, an improvement of 13.73% and 18.43% in compressive strength was evidenced, also with substitution levels of 1% and 2% respectively. It is important to mention that these improvements were obtained with the use of moist curing. The compressive strengths with curing in the open air improved with respect to the standard sample, however, they did not exceed the required resistance of  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. Regarding the modulus of rupture, that is, the flexural resistance was relatively low with respect to the standard sample.

**Keywords:** Biochar, Pyrolysis, Concrete properties, Moist curing, outdoor curing.

## Introducción

La industria de la construcción ha sido identificada como una importante fuente de contaminación ambiental, siendo el causante de aproximadamente el 37% de las emisiones a nivel global. Estas emisiones se derivan tanto de los procesos de construcción en sí como de la producción de materiales empleados en la manufactura. Además, el uso de energía en la construcción de edificios contribuye alrededor del 10% de las emisiones totales. Entre los materiales de construcción más relevantes en términos de impacto ambiental se encuentran el cemento y el acero, los cuales generan una gran proporción de las emisiones totales que afectan al medio ambiente [1].

El cemento es ampliamente utilizado en el ámbito constructivo para la elaboración del concreto. Sin embargo, también es reconocido como una de las principales fuentes de emisiones debido a la liberación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante su producción. Estas emisiones provienen de la calcinación, un proceso en el que los carbonatos crudos, como la piedra caliza, se descomponen en óxidos, como la cal, y dióxido de carbono. Aproximadamente dos tercios la liberación de gases totales de  $\text{CO}_2$  asociadas con la producción de cemento se atribuyen a la calcinación, mientras que el tercio restante se debe a la energía, el transporte y otros procesos involucrados en su obtención [2]. Se estima que cada tonelada de cemento puede generar entre 0.65 y 0.95 toneladas de  $\text{CO}_2$  [3].

El incremento demográfico a nivel mundial ha llevado a un crecimiento significativo en la demanda de cemento para la construcción de nuevas edificaciones y la expansión de ciudades existentes [4]. Este escenario ha motivado a los investigadores a buscar alternativas que reduzcan la extracción de recursos naturales y las descargas de gases de efecto invernadero. Una de las opciones es la reducción de la proporción de Clinker-cemento en la producción de cemento, así como la exploración de minerales y materiales más sostenibles y ecológicos para su fabricación [5]–[7]. Entre estas alternativas, el uso del biocarbón se destaca como una opción prometedora. El biocarbón puede ser utilizado como adición o sustitución parcial del cemento, ofreciendo beneficios tanto en términos de sostenibilidad ambiental como en propiedades del concreto. Su incorporación en la mezcla de concreto puede reducir la dependencia de los recursos naturales y disminuir los contaminantes, como el efecto invernadero, al mismo tiempo que proporciona mejoras en las características del material final.

El biocarbón es un material altamente poroso y de origen orgánico que se obtiene mediante la pirólisis o carbonización de residuos de biomasa vegetal, incluyendo desechos agrícolas y forestales. La pirólisis es el proceso de degradación térmica en ausencia de oxígeno transforma los residuos orgánicos en un producto carbonoso con propiedades especiales y beneficiosas para

diversos usos [8]–[10]. Así mismo, el biocarbón es un material versátil con múltiples aplicaciones, como el incremento de la calidad y fertilidad del suelo, la purificación del agua y la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, su producción fomenta la gestión sostenible de desperdicios orgánicos y la producción de energía sostenible. En resumen, El biochar es un recurso y sostenible y versátil que posee un amplio potencial para fomentar la transición hacia una economía circular y con bajas emisiones de carbono [11], [12].

El biocarbón ofrece numerosas ventajas en la producción de concreto, lo que lo convierte en una alternativa prometedora y sostenible; entre ellas está su bajo costo de producción y la posibilidad de un uso más amplio [13]. Además, el biocarbón presenta propiedades mecánicas, térmicas y acústicas favorables, lo que abre la puerta a resultados positivos en su aplicación como material innovador [14], [15].

En esta investigación, se pretende utilizar biocarbón derivado de residuos de madera (Molle costeño, molle serrano, árbol de meijo, árbol de ficus y árbol de tulipan). Este producto ha sido objeto de estudio en diversos campos, inicialmente enfocados en la agricultura y la silvicultura. Sin embargo, en la actualidad, existen investigaciones que demuestran los beneficios del biocarbón en la producción de concreto. No obstante, diseñar una mezcla de concreto universal que incorpore de manera óptima el biocarbón resulta desafiante debido a las propiedades variables de este material. Estas variaciones están determinadas por el tipo de materia orgánica primaria utilizada y las condiciones específicas de producción (pirólisis).

En este estudio, se explora el uso del biocarbón como una alternativa para reducir los costos de los componentes de construcción. El enfoque principal consiste en reemplazar parcialmente el cemento con diferentes proporciones de biocarbón (1%, 2% y 2.5% en peso de cemento) obtenido a partir de la pirólisis de residuos de madera. Se analizará el comportamiento de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas y flexión del concreto en probetas prismáticas para cada diseño de mezcla, respetando los porcentajes de biocarbón de restos de madera que se sustituirán por el cemento. El objetivo es evaluar los resultados logrados y determinar la viabilidad y eficacia de esta sustitución en términos de rendimiento mecánico del concreto.

En pocas palabras, se producirá un concreto utilizando biocarbón de restos de madera (Molle costeño, molle serrano, árbol de meijo, árbol de ficus y árbol de tulipan), como reemplazo parcial del cemento en un concreto con una resistencia objetivo de  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . Se analizará el efecto de reemplazar parcialmente el cemento por biocarbón en el concreto, con el objetivo de obtener una capacidad de carga a compresión y flexión igual o superior a la del

concreto normal. Además, se explorarán las ventajas económicas y ambientales que el biocarbón puede contribuir al sector de la construcción.

Por tanto, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se ven afectadas las propiedades físicas y mecánicas del concreto  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera?

La justificación técnica de esta investigación se fundamenta en la necesidad de reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  asociadas a la producción de cemento y explorar nuevos materiales que mejoren las propiedades del concreto. En este contexto, se propone el reemplazo parcial del cemento por biocarbón de restos de madera, un material que está siendo introducido recientemente en el sector constructivo del Perú. El objetivo es evaluar la resistencia a compresión y flexión del concreto con diferentes dosificaciones de biocarbón (1%, 2% y 2.5% con respecto al peso del cemento), basándose en los hallazgos conseguidos en investigaciones nacionales e internacionales.

El uso de biocarbón de restos de madera como sustituto parcial del cemento es una opción viable en la construcción debido a sus propiedades favorables. Este material sólido se obtiene mediante la conversión termoquímica de biomasa en un entorno con restricción de oxígeno. El biocarbón se destaca por su baja conductividad térmica, resistencia al fuego y estabilidad química debido a su elevado contenido de carbono fijo. Al proceder de elementos orgánicos, la estructura del biocarbón se modifica durante el proceso pirolítico, que implica la exposición de la materia prima a altas temperaturas en un ambiente con suministro de oxígeno limitado. Como resultado de este proceso, el biocarbón adquiere una mayor área de superficie, una microestructura porosa y una mayor resistencia a la degradación en comparación con el material original. Estas características hacen del biocarbón un material atractivo para su uso en construcción.

La elección de una resistencia del concreto a compresión y flexión de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  se basa en el hecho de que la mayoría de las edificaciones existentes y futuras requieren esta resistencia como mínimo. Acorde al reglamento de edificaciones, esta resistencia es la mínima requerida para componentes estructurales en una construcción. Por lo tanto, es relevante examinar cómo se ve afectada esta resistencia al incorporar el biocarbón en la mezcla de concreto, ya que esto puede tener implicaciones significativas para la industria de la construcción.

La justificación social de este proyecto radica en el impacto que puede tener en otros estudiantes de ingeniería civil, al proporcionar un mayor entendimiento sobre el uso del biocarbón en el concreto. Dado que el biocarbón puede interactuar de diferentes maneras con el concreto, mejorando o empeorando sus propiedades, es importante comprender cómo la

materia prima y las condiciones de producción influyen en dichas propiedades. Esta investigación puede ser el inicio de futuros estudios que estén relacionados con la incorporación del biocarbón en el concreto, con el fin de aumentar las características físicas, así como las mecánicas.

Si los resultados de esta investigación son favorables, el sector de la construcción podría beneficiarse al aplicar la metodología de sustituir un porcentaje significativo de biocarbón en la mezcla de concreto. Esta resistencia es ampliamente utilizada en la fabricación de hogares en la ciudad de Chiclayo y varias zonas más a nivel nacional. De esta manera, se podrían aprovechar los beneficios del biocarbón en incrementar las características del concreto, impulsando la sostenibilidad y el desarrollo de prácticas constructivas más respetuosas con el medio ambiente.

La justificación económica del estudio se cimienta en el acortamiento de costos en los materiales de construcción. Al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón en la mezcla de concreto, se logrará una disminución significativa en el costo total del material. Esta sustitución permite utilizar una menor cantidad de cemento y obtener la resistencia deseada o incluso superior. Este diseño de concreto puede ser especialmente beneficioso para la construcción de viviendas económicas, ya que la población que presenta una escasez económica podrá beneficiarse de un material de construcción más asequible. Al reducir el costo de los materiales, se generará un menor gasto en la construcción de viviendas, lo que permitirá un acceso más fácil y económico a la vivienda para aquellos con recursos limitados.

La justificación ambiental de este proyecto se centra en la reducción de la producción de cemento, uno de los componentes más frecuentemente empleados en la construcción. La producción y uso de cemento generan una gran cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), lo que contribuye al problema del cambio climático a nivel global. Esta investigación busca ofrecer una alternativa para abordar esta problemática ambiental al disminuir la cantidad de cemento utilizado en la construcción.

El biocarbón, al sustituir parcialmente el cemento, tiene la capacidad de acortar considerablemente las liberaciones de gases de efecto invernadero. Se estima que por cada tonelada de materia orgánica seca utilizada en la fabricación de biocarbón, se pueden reducir alrededor de 870 kg de  $\text{CO}_2$  [16]. Esto representa una reducción sustancial en las emisiones anuales a nivel global, contribuyendo a mitigar el cambio climático en aproximadamente un 12%. Además, el uso de biocarbón también puede ayudar a menorar una buena porción de desechos orgánicos que terminan en vertederos y evita su descomposición, lo que a su vez

reduce la generación de gases contaminantes. De esta manera, se promueve una gestión más sostenible de los residuos y se minimiza el impacto ambiental asociado [17].

El objetivo general planteado en esta investigación es determinar las propiedades físico – mecánicas del concreto  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% en la ciudad de Chiclayo; así mismo, se propuso los siguientes objetivos específicos: identificar los componentes químicos del biocarbon mediante un análisis químico (difracción de rayos x); elaborar el diseño de mezcla para la probeta patrón y para las probetas experimentales al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbon con respecto al peso del cemento; evaluar las propiedades del concreto  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> en estado fresco al reemplazar el 1%, 2% y 2.5% de biocarbon con respecto al peso del cemento; determinar la resistencia a compresión y resistencia a la flexión del concreto  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbon con respecto al peso del cemento a los 7 días, 14 días, 28 días y 56 días; comparar la resistencia a compresión y resistencia a la flexión del concreto  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbon con respecto al peso del cemento sometido a condiciones de curado húmedo y curado al aire libre; realizar una evaluación económica al sustituir biocarbón de restos de madera en dosificaciones del 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento contra un concreto convencional (concreto patrón) y realizar una evaluación de impacto ambiental.

## Revisión de literatura

### Antecedentes del problema

Actualmente se están explorando diversas estrategias para mejorar las propiedades del concreto, al mismo tiempo que se busca reducir la excesiva producción de cemento mediante su sustitución por otros materiales alternativos. Por consiguiente, se mostrarán antecedentes asociados al proyecto de investigación:

**Temirlan Barissov, «APPLICATION OF BIOCHAR AS BENEFICIAL ADDITIVE IN CONCRETE», TESIS, NEBRASKA, EE. UU, 2021. [18]**

La problemática abordada por el autor se centra en la producción de cemento, reconociéndolo como un componente clave del concreto y una notable fuente de liberaciones de CO<sub>2</sub>. El sector industrial, con la producción de cemento como parte integral, contribuye aproximadamente al 23% de las emisiones globales de dióxido de carbono, de las cuales se estima que una cuarta parte proviene específicamente de la producción de cemento, representando cerca al 5% y 6% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

En este contexto, el autor llevó a cabo una investigación sobre los beneficios económicos y ambientales del uso de biocarbón, con el objetivo de desarrollar un material sostenible. La intención era crear un concreto que redujera la cantidad de cemento utilizado, lo cual se consideraba beneficioso desde el punto de vista económico y mejora de un material. Sin embargo, esta reducción del cemento afecta negativamente las características mecánicas del concreto, y se buscaba compensar este efecto mediante el uso de biocarbón. Además, se exploró la implementación de este material para mejorar la unión entre agregados reciclados de concreto (RCA) y la pasta de cemento.

Para efectuar la investigación, se empleó muestras de biocarbón obtenidas de diferentes tipos de materias primas, como granos de destilería (B1), restos de maíz (B2), residuos de madera, como palets, cajas y madera contrachapada (B3), y cedro rojo (B4).

En cuanto al análisis del comportamiento del mortero con adición de biocarbón, se seleccionaron los restos de maíz (B2) como material base, con una dosificación en un rango del 1% al 20% por peso de cemento y tres grados de finura (original, molido y muy molido). También se llevaron a cabo ensayos utilizando biocarbón como aditivo en morteros con contenido reducido de cemento, donde se consideró una dosificación baja de biocarbón (1% - 2% y 5% en peso de cemento) y una reducción del contenido de cemento del 10%, 15% y 20%.

Basándose en los resultados de los experimentos, el autor concluyó que una dosis baja de biocarbón (1% - 2.5% con respecto al peso del cemento) incrementa la resistencia del mortero de manera suficiente para compensar la reducción del contenido de cemento, incluso hasta un 20%. Además, se observó que aumentar el contenido de biocarbón (hasta un 15% - 20%) puede incrementar considerablemente la resistencia inicial del mortero, llegando hasta un 47% de aumento dependiendo del tipo de biocarbón utilizado. Sin embargo, para mantener la trabajabilidad del mortero, se requiere una dosis alta de superplastificante.

Por último, se destacó la importancia de la finura del biocarbón, ya que la reducción del tamaño de las partículas de biocarbón mejoró su efecto en el concreto, gracias a la molienda.

**Mina Turovaara, «THE EFFECT OF HIGH-RATIO BIOCHAR REPLACEMENT IN CONCRETE ON PERFORMANCE PROPERTIES: EXPERIMENTAL STUDY OF BIOCHAR ADDITION TO CONCRETE MIXTURE», TESIS, SUECIA, 2022 [4].**

La problemática abordada en esta tesis se enfoca en el aumento de la población, proyectando un incremento de 2.5 billones de personas en los próximos 30 años. Esto conlleva una demanda creciente de nuevas edificaciones e infraestructuras en el futuro. Sin embargo, la construcción de estas estructuras requiere el uso del cemento, el cual contribuye significativamente a la contaminación ambiental, produciendo aproximadamente 0.65 a 0.95 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada tonelada de cemento.

El objetivo de esta tesis fue investigar el efecto del biocarbón, específicamente la cama de aves, cascarilla de arroz y lodos de papeleras, en las propiedades mecánicas del concreto. Se evaluaron diferentes proporciones de biocarbón (5%, 8% y 10%) en relación con el peso del cemento. Estos ensayos se realizaron en un laboratorio utilizando probetas de concreto de 100 mm y se analizó la compresión del concreto después de 28 y 56 días. Además, se analizaron otras propiedades como la trabajabilidad, la densidad, la microestructura y las propiedades químicas.

La conclusión de este estudio mostro que la trabajabilidad del concreto se vio afectada al agregar biocarbón a la mezcla, pasando de una consistencia fluida a compacta. Asimismo, se vio una reducción en la densidad a medida que aumentaba la proporción de biocarbón, lo cual puede atribuirse a la menor densidad de este material. Lo mismo ocurrió con la compresión, donde el concreto de referencia logro una resistencia de 72 MPa después de 28 días, mientras que el concreto con un 10% de biocarbón tuvo una compresión del concreto de 52 MPa. Sin

embargo, se observó que la muestra con un 10% de biocarbón experimentó el mayor aumento en resistencia a la compresión después de 28 días adicionales de curado.

**Gupta, S., & Kua, H. W., «EFFECT OF WATER ENTRAINMENT BY PRE-SOAKED BIOCHAR PARTICLES ON STRENGTH AND PERMEABILITY OF CEMENT MORTAR», *Construction and Building Materials*, 2018 [19].**

Los autores llevaron a cabo una investigación enfocada en encontrar alternativas para reducir los residuos sólidos originados por la producción de muebles, específicamente el aserrín. Además, se destacó que el aserrín puede tener efectos negativos en la salud humana debido a las partículas que se dispersan en el aire, causando problemas respiratorios.

En este estudio, se analizó la adición de biocarbón derivado del aserrín previamente saturado (en una proporción del 2% en peso de cemento) para determinar la resistencia y permeabilidad del concreto en diferentes condiciones de curado, tanto húmedo como al aire libre. El biocarbón utilizado se produjo mediante pirolisis a temperaturas de 300°C y 500°C.

Lo que obtuvieron los autores revelaron que la resistencia compresiva del concreto aumentó entre un 40% y un 50% después de 28 días en comparación con el concreto normal, especialmente en condiciones de curado al aire libre. También se observaron aumentos casi iguales en la resistencia a la flexión y tracción. Estos resultados se atribuyen a la baja relación agua-cemento inicial en las mezclas que contenían biocarbón previamente saturado. En cuanto a la porosidad, se encontró que la accesibilidad del agua se redujo entre un 18% y un 20%, lo que resultó en una disminución de la sorción y en una reducción del 55% al 60% en la profundidad de penetración del agua.

**Siricio, A., Bernardi, P., Belletti, B. & Malcevschi, A., Restuccia, L., Ferro, G. A., Suarez-Riera, D., «BIOCHAR-BASED CEMENT PASTES AND MORTARS WITH ENHANCED MECHANICAL PROPERTIES», *Frattura ed Integrità Strutturale*, 54 (2020),297-316 [20].**

Los autores de esta investigación exploraron la adición de micropartículas de biocarbón derivadas de la gasificación de astillas de madera quemada a 700°C en diferentes compuestos de cemento, como pastas y morteros de cemento. Estas partículas se utilizaron tanto como relleno como sustituto parcial del cemento. Se evaluaron cinco porcentajes diferentes en relación con el peso del cemento (0.8%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5%), con una relación (a/c) de 0.35

(y una relación a/c de 0.4 para la dosificación del 2%) y un 1% de superplastificante (Dynamon SP1).

En cuanto a la resistencia a la flexión, se determinó que la dosificación óptima de biocarbón en este estudio fue del 2%. Este porcentaje resultó ser el más adecuado como relleno en las mezclas de pasta de cemento, ya que se observó una mejora de más del 15% y 150% a los 7 días, respectivamente. Sin embargo, el uso de porcentajes inferiores de biocarbón no produjo un efecto positivo significativo en las características mecánicas del cemento. En términos de fractura, se concluyó que el biocarbón ayudó a desviar la trayectoria de la fractura, generando múltiples fracturas y promoviendo una falla dúctil.

En relación con las probetas de pasta de cemento en las que se reemplazó el cemento por biocarbón, se observó un gran aumento en el rendimiento energético de fractura, incluso cuando la resistencia era menor.

**Roychanda, Lia, Lyncha, Saberiana, Zhua, Youssfb, Ngo «CARBON SEQUESTRATION FROM WASTE AND CARBON DIOXIDE MINERALISATION IN CONCRETE – A STRONGER, SUSTAINABLE AND ECO-FRIENDLY SOLUTION TO SUPPORT CIRCULAR ECONOMY», Construction and Building Materials (2023) [21]**

En esta investigación, se centraron en potenciar las características mecánicas del concreto aprovechando una de las propiedades del biocarbón. El biocarbón, al ingresar en contacto con el cemento y los agregados, genera poros que permiten absorber el agua, lo que beneficia la resistencia del concreto. En este caso, se utilizó un proceso pirolítico con residuos orgánicos, específicamente madera. El autor reemplazó el 10%, 20% y 30% en volumen del agregado fino por biocarbón.

Los resultados mostraron que el concreto que contenía biocarbón experimentó un mejoramiento en la compresión del concreto. A los 7 días, con niveles de sustitución del 10%, 20% y 30%, se observaron incrementos del 63,9%, 45,6% y 9,6%, respectivamente. A los 28 días, las muestras de concreto con biocarbón presentaron aumentos del 20,1%, 22,6% y 16%, con dosificaciones de reemplazo del 10%, 20% y 30%, respectivamente. Además, se aplicó un curado del concreto en un entorno de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En concreto mezclado con biocarbón de madera con una dosificación del 10% de reemplazo del agregado fino, se observó una mejora en la resistencia a compresión del 24,7% y 37,3% a los 7 y 28 días, respectivamente, en comparando con la muestra patrón.

**Diaz Garcia, Jozsef Albrecht, «PROPIEDADES DEL CONCRETO F´C= 210KG/CM2 EN ESTADO FRESCO AL ADICIONARLE BIOCARBON DE ASERRÍN EN 5%, 7.5% Y 10%», TESIS, CHIMBOTE, 2019 [22].**

El autor de esta investigación se enfocó en estudiar las características del concreto fresco y endurecido al agregar biocarbón de aserrín. Se utilizaron dosis de 5%, 7.5% y 10% de biocarbón en un concreto con una resistencia ( $f_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Además, se analizaron los componentes químicos del biocarbón para determinar qué compuestos podrían incrementar la resistencia del concreto. Los ensayos de compresión se llevaron a cabo según la normativa peruana a los 7, 14 y 28 días.

En cuanto al diseño de mezcla óptimo, el autor consideró una relación ( $a/c$ ) de 0.56, teniendo en cuenta un contenido de vacíos del 1.5%. Esto permitió obtener un asentamiento de consistencia plástica de 3 a 4 pulgadas. La dosificación en volumen fue de 1:2.60:3.00:23.94, y se usó la norma del ACI 211 para el diseño de mezcla.

La resistencia a compresión a los 28 días, se obtuvieron los siguientes valores: el concreto patrón alcanzó una resistencia de  $f_c = 213.1$  kg/cm<sup>2</sup>, mientras que al agregar 5%, 7.5% y 10% de biocarbón de aserrín se obtuvieron resistencias de  $f_c = 227.7$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f_c = 220.4$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f_c = 212.3$  kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Se concluyó que todas las muestras con adición de biocarbón de aserrín mostraron una mejora en comparación con la muestra patrón, siendo la adición del 5% la que obtuvo mejores resultados.

En las conclusiones, el autor menciona que el concreto sigue ganando resistencia con el tiempo. Esto se explica porque las probetas con biocarb de aserrín contienen material cementante (metacaolín) y óxidos como sílice amorfa (SiO<sub>2</sub>), alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Estos compuestos pueden reaccionar con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, formando silicato de calcio hidratado (CSH) y aluminato de calcio hidratado (C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>), lo cual contribuye a una mayor resistencia del concreto.

## **Bases teórico-científicas**

### **Producción y propiedades del biocarbón**

El biocarbón es un valioso residuo sólido que se obtiene a través de un proceso controlado de descomposición térmica, conocido como pirolisis, de materia orgánica o biomasa como madera, desechos animales y vegetales. Durante esta transformación anaeróbica, la biomasa residual se convierte en un material carbonoso con una microestructura altamente porosa. Una de las características destacadas del biocarbón es su notable resistencia a la degradación, la cual supera significativamente la del material original del que se deriva. Este material carbonoso resultante presenta propiedades únicas y beneficiosas que lo convierten en un recurso prometedor en diversas aplicaciones [23].

La producción de biocarbón mediante el proceso de pirólisis implica someter la biomasa a temperaturas elevadas (normalmente superiores a 400°C) en un entorno de baja concentración de oxígeno. Durante este proceso de calentamiento, se produce una descomposición térmica que conlleva la eliminación del hidrógeno y las moléculas volátiles de carbono, dando como resultado una estructura sólida de carbono altamente estable. Además, se generan algunas cenizas minerales como subproducto residual de la materia prima original. Este método de producción garantiza la obtención de biocarbón de alta calidad con propiedades deseables para diversas aplicaciones[24].

Como resultado de la descomposición térmica de la materia prima original, se generan diferentes productos. En primer lugar, se obtienen sustancias gaseosas que pueden para producir energía. Además, se obtienen bio-aceites líquidos, los cuales podrían ser aprovechados para la manufactura de combustibles y productos químicos. Por último, se obtiene carbón sólido, cuya proporción varía según el estado en el que se realice la pirólisis.

Según Bridgwater [25], la pirolisis se puede catalogar en diferentes clases en función de la temperatura de combustión de la materia orgánica, el tiempo de residencia y la proporción de los productos finales. Estos aspectos se detallan a continuación:

*Tabla 1: Tipo de pirolisis según las condiciones de procesos y productos*

Tipo de Pirólisis	Temperatura	Tiempo de estancia	Porcentaje en peso del producto (%)		
			Sólido	Líquido	Gaseoso
Pirólisis lento	300-500°C	> 10 min	35	30	35
Pirólisis Intermedio	400-500°C	≈ 10-30 s	25	50	25
Pirólisis Rápida	400-650°C	≈ 1-5 s	12	75	13
Pirolisis muy rápida	700-1000°C	< 0.5 s	10	5	85

*Fuente: [2]*

Como se puede observar, la proporción más alta de carbón sólido se asocia a una pirólisis lenta o intermedia.

Para lograr una producción efectiva de biocarbón, es necesario contar con una amplia variedad de materia orgánica que pueda someterse al proceso de pirólisis. La estructura original y la composición de la biomasa utilizada son factores cruciales que determinan la microestructura y otras características físicas del producto final, es decir, el biocarbón. A pesar de que la pirolisis conlleva una pérdida de masa y una reducción de volumen, el carbono y la estructura mineral del biocarbón conservan su esencia y porosidad fundamentales [26].

A pesar de lo mencionado, las propiedades físicas del biocarbón no solo dependen del origen de la materia orgánica, sino que también están influenciadas por el preprocesamiento (como el secado, la trituración, la activación, etc.), el procesamiento (incluyendo el tipo de pirolisis, ya sea lenta, intermedia o rápida, la temperatura y el tiempo de calcinación, entre otros factores) y las condiciones de postratamiento (como la molienda y la activación).

Por lo general, la temperatura juega un papel crucial en los cambios físicos experimentados por la biomasa durante la pirolisis, como la descomposición térmica, la liberación de compuestos volátiles y la formación de microestructuras. Se ha observado que, a temperaturas más altas durante el proceso de pirolisis, se incrementa la formación de poros en las muestras de biocarbón, así como un mayor contenido de carbono, según un estudio realizado por Barissov (2021) [2].

Estos hallazgos destacan la influencia significativa de la temperatura en la transformación a través de la pirolisis, en comparación con otros factores como la velocidad de calentamiento o el tiempo de calcinación. De esta manera, se evidencia que el control preciso de la temperatura es un aspecto crucial para obtener las propiedades deseadas en el biocarbón.

A continuación, se presentará una tabla procedente de varias investigaciones, en las que se utilizó el biocarbón pero con distintos tipos de materias orgánicas y las condiciones de pirolisis que afectaron a dichas materias.

*Tabla 2: Diferentes tipos de materias primas afectadas por distintos tipos de pirolisis*

<b>Referencia</b>	<b>Biomasa</b>	<b>Condición de Pirolisis</b>	<b>Tamaño de partículas</b>	<b>Gravedad específica</b>	<b>Contenido de carbón</b>
Ghani et al. 2013	Aserrín de madera	550-850°C	N/A	N/A	82.3-93.4 % por peso
Khushnood et al. 2016	Cáscara de nuez	850°C / 60 min	600 nm	2.2	87.7 % por peso
	Cáscara de maní		750 nm	2.35	93.8 % por peso
Restuccia & Ferro 2016	Cáscara de nuez	800°C	N/A	N/A	97.9 % por peso
	Café en polvo		N/A	N/A	82.9 % por peso
Gupta et al. 2017	Aserrín de madera	300°C / 45 min	3-200 $\mu$ m	1.54	68.3% por peso
Gupta et al. 2018a	Aserrín de madera	300°C / 40 min	3-200 $\mu$ m	1.59	62.3 % por peso
		500°C / 40 min		1.51	87.1 % por peso
Akhtar and Sarmah 2018	Desechos de aves de corral	450°C / 20 min	N/A	N/A	19.0 % por peso
	Cáscara de arroz	500°C	N/A	N/A	36.1 % por peso
	Lodos de papel	500°C / 20 min	N/A	N/A	30.0 % por peso
Cosentino et al. 2018	Madera blanda	700°C	N/A	N/A	90.2% por peso

*Fuente: [2]*

### **Influencia del biocarbón en las propiedades del Concreto Fresco**

El biocarbón se destaca por su buena capacidad de absorber el agua debido a su microestructura porosa y gran superficie específica. Cuando se agrega biocarbón a la mezcla de concreto, estas partículas tienden a absorber parte del agua, lo que disminuye la relación efectiva entre agua-cemento ( $a/c$ ) y reduce la trabajabilidad del concreto. Además, se ha descubierto que la adición de partículas finas de biocarbón a la matriz del concreto provoca efectos de relleno y nucleación (proceso en el cual se forman núcleos o centros de cristalización en la matriz de cemento hidratado, formación de cristales a partir del núcleo del concreto), dando como resultado una notable reducción en la cantidad de agua en la mezcla. Esto es por las propiedades de absorción y retención de agua del biocarbón. Las partículas finas de biocarbón actúan como puntos de nucleación adicionales, acelerando el proceso de hidratación y resultando en un fraguado más rápido y una mayor liberación de calor de hidratación inicial, como se ha demostrado en los estudios realizados por Dixit et al. (2019) y Gupta et al. (2018) [27], [28].

Además, las partículas dispersas de biocarbón tienden a aumentar la densidad de empaquetamiento de la matriz de concreto al llenar los espacios posibles entre el cemento y los granos de arena. Esto, combinado con una menor proporción efectiva de  $a/c$  debido a la absorción adicional de agua por parte del biocarbón, resulta en una mayor cohesión y un fraguado más acelerado del concreto [28].

### **Influencia del biocarbón en las propiedades del Concreto Endurecido**

El biocarbón ha sido utilizado por varios investigadores para mejorar no solo las propiedades mecánicas y físicas del mortero, sino también de distintos tipos de concreto, como el concreto celular (un material mucho más ligero utilizado en construcción) y el concreto permeable. A continuación, se observará en la siguiente tabla una recopilación de diferentes investigaciones que han aplicado biocarbón en diversos tipos de concreto.

En general, se ha logrado mejorar las propiedades de resistencia del concreto con ciertas dosis de biocarbón (la dosis óptima varía en cada estudio, dependiendo de las propiedades del biocarbón y la materia prima utilizada). En promedio, se ha encontrado que la dosis óptima no supera el 5%. Los efectos positivos atribuidos al acortamiento de la relación agua-cemento efectiva (debido a la propiedad de retención de agua del biocarbón), la mejora en el empaquetamiento de partículas y la hidratación mejorada (gracias al efecto de nucleación)

superan los efectos negativos de la dilución del cemento y la baja resistencia mecánica de las partículas de biocarbón [19], [29], [30]. Este efecto también es más notable en las etapas iniciales, especialmente cuando se utiliza una mayor relación agua-cemento.

*Tabla 3: Aplicación del biocarbón en diferentes tipos de concreto*

Referencia	Origen de Biomasa	Aplicación	Dosificación de Biocarbón	Resultados
Gupta et al. 2018a	Aserrín de madera	Aditivo en mortero	1-8% por peso de cemento	- Resistencia mejorada aumentando el contenido de carbono del biocarbón. - El efecto fue más evidente para edades tempranas.
Gupta et al. 2018b	Aserrín de madera	Aditivo en mortero	2% por peso de cemento	- Disminución de CO <sub>2</sub> al usar biocarbón.
Zeidabadi et al. 2018	Cascara de arroz	Reemplazo en el cemento	0 - 10% reemplazo por peso de cemento	- Mejora de la resistencia reemplazando el 5% de biocarbón; reduce la resistencia en 10% debido a la dilución del cemento.
Mrad & Chehab 2019	N/A	Agente de curado interno / reemplazo de arena	0 - 45% reemplazo de arena por peso	- Disminución del $f'_c$ , que fue menos evidente para las muestras curadas al aire, lo que implica que el biocarbon posee propiedades de curado interno.
Qin et al. 2021	Contrachapado de eucalipto	Reemplazo del cemento en un concreto permeable	0 - 13.5% reemplazo por peso de cemento	- Mayor resistencia a la tracción y compresión, manteniendo las propiedades de permeabilidad del concreto permeable.
Falliano et al., 2020	N/A	Aditivo en concreto celular	0 - 4% por peso de cemento	- Ligera disminución en la resistencia a la compresión, además, un incremento en la energía de fractura de las muestras curadas al aire.
Dixit et al. 2019	Aserrín de madera	Reemplazo de cemento en un concreto de ultra - alta resistencia (UHPC)	0 - 8% reemplazo por peso de cemento	- Un mayor tamaño de las partículas de biocarbón mostraron una reducción en la resistencia. - Mayor grado de hidratación.

Fuente: [2]

Se ha observado que el biocarbón no solo mejora la resistencia del concreto, sino que también aumenta la energía de fractura, que es la energía requerida para propagar una grieta en el material. Este efecto se puede explicar por la incorporación de partículas finas de biocarbón en la matriz del concreto, lo cual altera el mecanismo de propagación de grietas.

Generalmente, cualquier falta de homogeneidad en la estructura del concreto, como agregados, fibras, vacíos de aire o poros, se considera un obstáculo para la propagación de las grietas. Esto implica que se requiere mayor energía para que la grieta atraviese estas regiones, lo que a su vez puede llevar a la ramificación o desviación de la grieta.

### Ensayos de acuerdo con la Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y ASTM

- **Análisis granulométrico de los agregados**

#### Definición

Este ensayo de los agregados es un método que nos permite determinar la disposición de las de las partículas, así como la finura y el diámetro de las arenas y/o piedras. Otro punto importante de hacer dicho ensayo es determinar si los agregados son aptos para los fines de ingeniería que son requeridos, así mismo, seleccionar de manera correcta los agregados dependiendo a la función que estarán destinados a cumplir.

Norma: N.T.P. 400.012 [31].

#### Tamices Normalizados

El orden que se usaron fueron los siguientes:

Agregado grueso:

*Tabla 4: Abertura de tamiz para A.grueso*

<b>Tamiz N°</b>	2''	1 ½''	1''	¾''	½''	3/8''	4	8	16
<b>Abertura (mm)</b>	50.8	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18

*Fuente: [32]*

Agregado fino:

*Tabla 5: Abertura de tamiz para agregado fino*

<i>Tamiz N°</i>	<i>1/2''</i>	<i>3/8''</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>30</i>	<i>50</i>	<i>100</i>
<i>Abertura (mm)</i>	<i>12.7</i>	<i>9.5</i>	<i>4.75</i>	<i>2.36</i>	<i>1.18</i>	<i>0.60</i>	<i>0.30</i>	<i>0.15</i>

*Fuente: [32]*

### **Procedimiento**

#### **a. Procedimiento del análisis de gradación del agregado fino:**

Para el correspondiente ensayo granulométrico del A. fino se debe recolectar una muestra la cual debe tener como mínimo 300 g después del secado; antes de realizar el ensayo se debe secar el agregado aproximadamente por 24 hrs con la temperatura promedio de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Luego de retirar el agregado del horno se debe poner en reposo para que se enfríe; posteriormente se pesó el A. fino totalmente seco. Al conseguir el peso seco de la muestra se pasa a zarandear la serie de tamices normalizados para el agregado fino (3/8'', N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100); tras realizar aquella acción por varios minutos se debe pesar la muestra retenida de cada tamiz; este proceso es importante ya que con estos datos hallaremos el porcentaje acumulado que pasa y el porcentaje acumulado retenido.

De todos los pesos obtenido y los datos calculados se debe realizar el gráfico de la curva de gradación del A. fino (Porcentaje acumulado que pasa frente a la abertura del tamiz). Para verificar que el agregado cuente con una distribución adecuada se debe revisar la NTP 400.037 [32], para saber si la curva granulométrica se encuentra comprendida entre los límites granulométricos de dicha norma.

*Tabla 6: Límites granulométricos del agregado fino*

<b>MALLA</b>	<b>% QUE PASA</b>
3/8''	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 85
N° 30	25 – 60
N° 50	10 – 30
N° 100	2 - 10

*Fuente: [32]*

**b. Procedimiento del análisis granulométrico del agregado grueso:**

Con respecto al ensayo granulométrico del A. grueso primeramente se debe realizar el cuarteo del agregado para que posteriormente se recogiera el A. grueso y sea mayor a 5 Kg (tabla 7), luego se coloca la muestra al horno por un tiempo aproximado de 24 horas a una temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pasado el tiempo de secado se debe retirar el agregado grueso del horno y se dejar reposar para que se enfríe. Una vez obtenido la muestra seca se realiza el zarandeo de los tamices normalizados del agregado grueso (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8 y N° 16); se agito el material por partes para que así no supere la capacidad del tamiz y así obtener un mejor resultado.

Una vez zarandeado el agregado grueso se obtiene el peso retenido de cada tamiz; además de ello se debe verificar que la curva granulométrica cumpliera con los límites normados por la NTP 400.037 [32] y así obtener una buena distribución de las partículas.

*Tabla 7: Mínima cantidad requerida de la muestra de agregado grueso o total*

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: [31]

*Tabla 8: Límites granulométrico del A. grueso*

HUSO	TMN	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS								
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°50
5	1" a 1/2"	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
67	3/4" a N°4	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	1/2" a N°4	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
89	3/8" a N°16	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	N°4 a N°16	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: [32]

- **Ensayo de contenido de humedad de los agregados**

**Definición**

El agua que contiene la mezcla es uno de los factores más importantes que predomina en la resistencia y otras propiedades del concreto. Es por esta razón que es imprescindible examinar el contenido de agua.

Los agregados se extraen de las canteras, por lo general se encontrarán en estado húmedo, por lo tanto, este ensayo nos ayudará a verificar la cantidad de agua que poseen las muestras seleccionadas.

Norma: El ensayo se realizó bajo el reglamento de la N.T.P. 339.185 [33].

*Tabla 9: Cantidad mínima requerido para el ensayo de contenido de humedad del A. grueso*

<b>TMN mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima de la muestra en kg</b>
4,75 (0,187) (Nº4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (2.1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2.1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3.1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150 (6)	50,0

*Fuente: [32]*

**Instrumentos, equipos y materiales**

- Cucharon
- Recipientes
- Guantes
- Horno de secado
- Balanza
- A. fino
- A. grueso

### Procedimiento

#### **a. % Humedad del A. fino:**

- Inicialmente se debe apartar una pequeña cantidad de la muestra, la cantidad recomendable es de 0.5 kg.
- Posteriormente se debe llevar la arena al horno por aproximadamente 24 hrs a una temperatura promedio de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Finalmente, al haber transcurrido el tiempo necesario, se retira el A. fino seco del horno y se continua a pesar.

#### **b. % de Humedad del A. grueso:**

- Inicialmente se debe apartar una pequeña cantidad de la muestra.
- Posteriormente se debe llevar la grava al horno por 24 hrs.
- Por último, al haber transcurrido el tiempo necesario, se retira el agregado grueso seco del horno y se procede a pesar.

### Cálculo

Con la siguiente formula se podrá calcular el % de humedad:

$$P(\%) = \frac{(W - D)}{D} \times 100$$

Donde:

P: Contenido de humedad de la muestra seleccionada (%)

W: Muestra inicial húmeda (gr)

D: Muestra final seca (gr)

#### • **Peso unitario suelto y compactado del A. fino y A. grueso**

### Definición

Con esta prueba se podrá calcular el peso de una muestra seleccionada en una vasija que posea un Vol. conocido; para calcular el PUS y PUC para ambos agregados.

Norma: N.T.P. 400.017 [34].

### **Instrumentos, equipos y materiales**

- Cucharon
- Moldes (Probetas)
- Brochas
- Varilla de 3/8''
- Mazo de goma
- Guantes
- Balanza
- A. Fino
- A. Grueso

### **Procedimiento**

#### **a. PUS del A. fino y A. grueso**

- Inicialmente se debe pesar el molde a usar (Probeta), luego se empieza a llenar la vasija con la muestra seleccionada (A. fino o A. grueso), verificando que la descarga del material no exceda 50 mm por arriba del borde.
- Una vez relleno el molde se procede a enrasar la superficie con la varilla lisa de 3/8''.
- Por último, se coloca el molde en una balanza para que sea pesado, sin embargo, antes de pesar también se debe limpiar con una brocha las partículas sueltas que quedaron en la parte externa del molde.

#### **b. PUC del A. fino y A. grueso**

- Inicialmente se debe pesar el molde a usar (Probeta), luego se empieza a llenar a un tercio del molde con la muestra seleccionada (A. fino o A. grueso).
- Luego se le apisona uniformemente con la varilla lisa, dando 25 topes repartidos en forma de espiral hacia adentro y 15 topes con el mazo de goma alrededor del molde.
- Posteriormente se llena a los dos tercios del total, luego nivelar y apisonar, repitiendo la acción anterior.
- Por último, se completó el molde (Probeta) y se apisono nuevamente, luego se enraso con una varilla para que posteriormente pesemos el molde con la muestra ya

compactada, sin embargo, antes de pesar también se debe limpiar con una brocha las partículas sueltas que quedaron en la parte externa del molde.

### Cálculo

Con la siguiente formula se podrá calcular el P.U. de los agregados:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M: Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

G: Muestra + recipiente, kg

T: Masa del recipiente, kg

V: Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

- **Peso específico y capacidad de absorción de los agregados**

### Definición

La prueba de P.E. del A. fino y agregado grueso nos permite determinar si la muestra seleccionada es altamente porosa, es bastante absorbente, mientras al tener valores altos nos señalara que la muestra de agregado seleccionada tiene un mejor comportamiento.

Norma: N.T.P. 400.021 para calcular el P.E. del A. grueso [35]. Y N.T.P. 400.022 denominado para calcular el P.E. del A. fino [36].

### Instrumentos, equipos y materiales

- Recipientes
- Fiola
- Guantes gruesos
- Franela
- Canastilla
- Horno
- Balanza analítica y mecánica
- A. Fino
- A. Grueso

### Procedimiento

#### **a. Peso Específico y capacidad de absorción del agregado fino**

- Inicialmente se pesa el A. fino procedente de la cantera, para que luego pase por la malla N° 4 y adquirir una muestra de 0.50 Kg.
- Luego se pesa la fiola para que posteriormente se introduzca el agregado fino seleccionado; así mismo, se satura la fiola con agua y dentro la muestra.
- Posteriormente se agita la fiola, con movimientos circulares con la finalidad de eliminar las burbujas de aire o vacíos atrapados dentro de la muestra.
- Una vez finalizada la acción anterior, dejamos reposar la fiola por 24 horas con el agregado dentro de la misma y sin burbujas de aire.
- Al transcurrir dicho tiempo se procedió a pesar la muestra y depositamos el agregado fino en un recipiente vacío. Una vez que las partículas de agregado fino sedimenten se procedió a colocar la muestra al horno durante 24 hrs.
- Por último, separamos la arena del horno y dejamos reposar para que se enfríe a temperatura ambiente, y luego pesamos la muestra.

#### **b. Peso Específico y capacidad de absorción del agregado grueso**

- Inicialmente se lava el agregado grueso para eliminar las partículas finas y algunas impurezas que puede contener. Una vez lavada la muestra se procede a sumergirla en agua por 24 horas.
- Una vez transcurrido dicho tiempo se saca la grava de un recipiente de agua y se aparta para que descanse a temperatura del entorno. Luego pesamos la muestra seleccionada.
- Al tener la muestra pesada, se procede a colocar dicha muestra saturada en una canastilla para así determinar su peso.
- Luego las muestras se colocan en el horno de laboratorio durante 24 horas.
- Por último, retiramos la muestra del horno y dejamos reposar para que se enfríe a temperatura ambiente, y luego pesamos la muestra.

- **Ensayo de Asentamiento del concreto en estado fresco**

**Definición**

Esta prueba nos ayuda a hallar la consistencia de la mezcla, así mismo, la trabajabilidad; y para poder realizar este ensayo es necesario tener los datos de algunos factores como el agua de amasado, la granulometría, el tamaño máximo del agregado, etc.

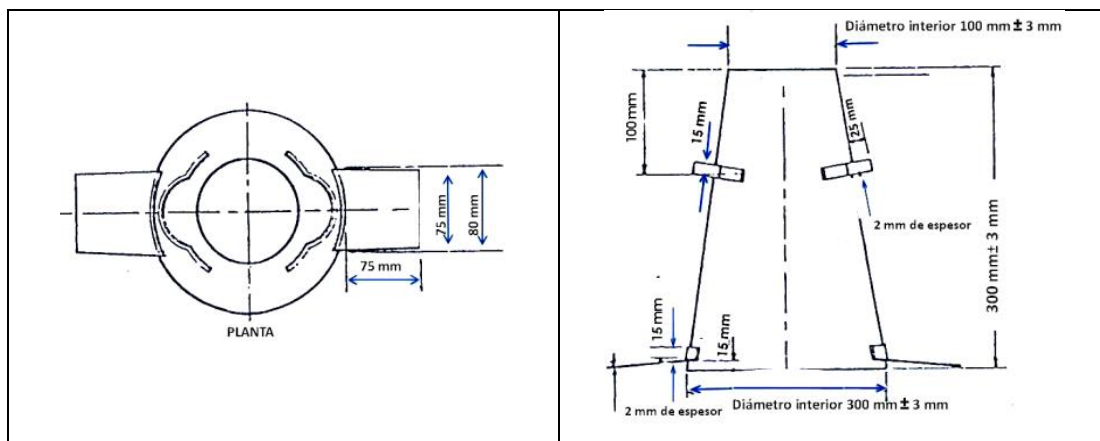
Es necesario mencionar que este método no es exacto, sin embargo, nos puede arrojar resultados lo suficientemente precisos.

Norma: N.T.P. 339.035 [37].

**Instrumentos y equipos**

- Cono de Abrams
- Varilla de 5/8’’
- Cinta métrica
- Cucharón
- Mezcladora de concreto

*Figura 1: Cono de Abrams*



Fuente: [37]

*Tabla 10: Dimensiones del molde del cono de Abrams*

<i>Dimensiones del molde para el Ensayo de Asentamiento</i>									
mm	2	3	15	25	75	80	100	200	300
pulg	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/2	4	8	12

Fuente: [37]

### Procedimiento

- Al iniciar el ensayo se el cono de Abrams; luego se le coloca en un espacio plano y no absorbente.
  - Luego se llena el molde con la mezcla preparada en tres partes, cada capa consta de aproximadamente 1/3 de la capacidad del molde.
  - Las tres capas que se le colocan se le chusea con 25 golpes con la varilla de 5/8'', penetrando la capa anteriormente vaciada.
  - Antes de compactar la última capa se debe llenar el molde por exceso, para que posteriormente se enrase la superficie del concreto de forma tal que el molde quede lleno.
  - Finalmente, se alza el cono de verticalmente, con un movimiento firme; luego se mide la diferencia de altura del cono y la altura del eje vertical del modelo.
- **Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco**

### Definición

Este ensayo determinará el peso de una muestra seleccionada en una probeta recomendable que posea un volumen fácil de calcular; este ensayo depende de cuanto este compactado, del % de humedad y tamaño de los agregados.

Norma: N.T.P. 339.046 [38].

### Instrumentos, equipos y materiales

- Cucharón
- Moldes (Probetas)
- Brochas
- Varilla de 5/8''
- Mazo de goma
- Guantes
- Balanza
- Mezcla de concreto

### Procedimiento

- Inicialmente se debe humedecer el molde y luego pesarla, luego se empieza a llenar a un tercio del molde con la mezcla de concreto.
- Luego se le apisona uniformemente con la varilla lisa, dando 25 topes repartidos en forma de espiral hacia adentro con la varilla y 15 golpes con el mazo de goma alrededor del molde.
- Posteriormente se llena a los dos tercios del total, luego nivelar y apisonar, repitiendo la acción anterior.
- Al final se completó el molde (Probeta) y se apisono nuevamente, luego se engraso con una varilla para que posteriormente pesemos el molde con la muestra ya compactada, sin embargo, antes de pesar también se debe limpiar con una brocha las partículas sueltas que quedaron en la parte externa del molde.

### Cálculo

Fórmula para calcular el P.U del concreto en estado fresco:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M: Densidad del concreto, kg/m<sup>3</sup>

G: mezcla de concreto + recipiente, kg

T: Masa del recipiente, kg

V: Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

- **Ensayo de exudación del concreto en estado fresco**

#### Definición

Esta prueba nos permite determinar el contenido relativo de agua exudada por la mezcla; es decir, se determinará la segregación de los materiales de la mezcla del concreto en estado fresco, ya que el agua tiende a sobresalir hacia la superficie por la insuficiencia de los agregados de arrastrarla con ellos al irse compactando.

Norma: El título del presente ensayo establecido en la N.T.P. 339.077 es “Método de ensayo normalizado para exudación de concreto” [39].

### Instrumentos, equipos y materiales

- Cucharon
- Moldes (Probetas)
- Brochas
- Varilla de 3/8''
- Mazo de goma
- Guantes
- Balanza
- Mezcla de concreto

### Procedimiento

- Inicialmente se debe colocar la muestra en un espacio plano y libre de vibraciones, además tratar de envolver la mezcla para evitar pequeñas porciones de evaporaciones.
- Posteriormente se extrae la cantidad de agua que exudo cada 10 minutos durante un tiempo de 40 minutos; una vez transcurrido ese tiempo se debe extraer el agua exudada cada 30 minutos hasta que no se presente agua en la parte superficial de la mezcla.
- Como recomendación tratar de inclinar la muestra apoyándose de un taco de madera con la finalidad de que el ensayo sea más fácil.

### Cálculo

Con la siguiente formula se podrá calcular el volumen de agua de exudación por unidad de superficie:

$$V = \frac{V_1}{A}$$

Donde:

V: Volumen de agua de exudación por unidad de superficie, mL/cm<sup>2</sup>

V<sub>1</sub>: Volumen de agua exudada medida durante el intervalo de tiempo seleccionado, mL.

A: Área expuesta del concreto, cm<sup>2</sup>

Con la siguiente formula se podrá calcular el agua de exudación acumulada, expresada en porcentaje:

$$C = \frac{w}{W} * S$$

$$\text{Exudación, \%} = \frac{D}{C} * 100$$

Donde:

C: Masa del agua, en g.

w: Agua de mezclado neta (agua total menos agua absorbida por los agregados), kg.

W: Masa total de la tanda, kg.

S: Masa de la muestra, en g.

D: Masa del agua de exudación, en g o el volumen total extraído de las muestras de ensayo, en cm<sup>3</sup>, multiplicado por 1 g/cm<sup>3</sup>.

- **Ensayo de tiempo de fraguado del concreto en estado fresco**

**Definición**

La prueba de tiempo de fraguado nos sirve para ver si la mezcla de concreto se está desarrollando de manera normal en lo que corresponde a sus reacciones de hidratación.

El fin de esta prueba se centra en dos partes, una es determinar el tiempo que pasa desde el instante en el que se añade agua a la pasta hasta que ésta deja de tener fluidez y se convierte en plástica (inicio del fraguado), la segunda es determinar el tiempo que requiere la pasta hasta que ésta tenga un cierto grado de solides (fin del fraguado). Este proceso se cumple debido a la mezcla del material cementante y el agua, dando lugar a un cambio de estado (de plástico a sólido).

Norma: N.T.P. 339.082 [40].

**Instrumentos, equipos y materiales**

- Recipiente para la mezcla de concreto.
- Agujas de penetración.
- Aparato de carga.
- Varilla.

### Procedimiento

- Elaborar la mezcla de concreto y apuntar el tiempo exacto (hora, minutos y segundos), del primer contacto que se realizó el agua con el cemento.
- Posteriormente, se tamizará la muestra por la malla N° 4, llenando el recipiente con la mezcla.
- Dejar descansar la mezcla durante un tiempo de 3 o 4 horas.
- Finalmente, realizar la penetración a la mezcla con el penetrómetro con distintas cargas, hasta obtener una resistencia a la penetración de 500 PSI para el fraguado inicial y 4000 PSI para el fraguado final.

$$\text{Resis. a la Penetración} = \frac{\text{Fuerz. Aplicada (lb)}}{\text{Área de la aguja (in}^2\text{)}}$$

### • **Elaboración y curado de especímenes de concreto**

#### Definición

En esta sección se realizará bajo los lineamientos de la norma correspondiente a la elaboración, curado y transporte de probetas de concreto ya sea en condiciones de laboratorio o en obra.

Norma: En este caso se utilizará la N.T.P. 339.183 denominada “Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio” [41].

#### Instrumentos, equipos y materiales

- Mezcladora.
- Baldes.
- Balanza.
- Cucharones.
- Planchas de albañilería.
- Varilla de 5/8”
- Mazo de goma.
- Moldes (probetas cilíndricas y vigas).

### Procedimiento

- Inicialmente se debe limpiar el interior y exterior de los moldes (Probetas cilíndricas y vigas), sin olvidarse de ajustar cada uno de ellos.
  - Pesar los agregados, cemento, el agua de acuerdo con el diseño de mezcla calculado; luego agregar todas esas muestras a la mezcladora.
  - Una vez que tengamos la mezcla de concreto, se realizó la prueba de asentamiento, para obtener el slump indicado.
  - Llenar las probetas y vigas en tres capas, así mismo, varillar 25 veces en cada capa y golpeando 15 veces al exterior de cada molde con un mazo de goma. Luego de llenar cada probeta se enrasa y se lisa la superficie con una plancha.
  - Posteriormente, se deja reposar las muestras por un lapso de 24 horas después del llenado.
  - Una vez transcurrido el tiempo indicado se desencofran las probetas y vigas, para dejarlas en una piscina a curado húmedo, sin embargo, en la presente investigación también se realizará un curado al aire libre debido a las propiedades de absorción que presenta el biocarbón, dicho esto algunos especímenes se colocaran a curado al aire libre sin contacto con el agua.
- **Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto**

### Definición

La prueba de resistencia a compresión del concreto en su estado endurecido es una característica mecánica fundamental para evaluar la máxima capacidad de carga que puede soportar el concreto bajo una fuerza axial, esta fuerza se expresa en  $\text{kg/cm}^2$ .

Norma: N.T.P. 339.034 [42].

### Equipos y materiales

- Máquina universal total mente calibrada.
- Especímenes cilíndricos de concreto.

### Procedimiento

- En primer lugar, es necesario asegurarse de que los especímenes de concreto estén completamente deshidratados. Es importante destacar que hay un margen de tiempo permitido para realizar la prueba de compresión en función de la edad del concreto.

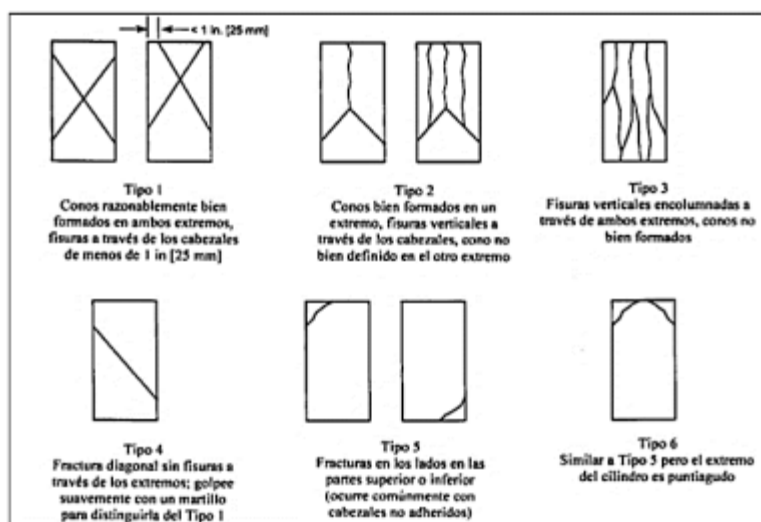
*Figura 2: Margen de tiempo permitido para el ensayo de compresión.*

EDAD	TOLERANCIA DE TIEMPO DE ENSAYO
24 horas	± 0.5 horas
3 días	2 horas
7 días	6 horas
28 días	20 horas

Fuente: [42]

- Luego alinear la probeta cilíndrica con el eje del bloque de empuje superior y revisar que la carga este en cero.
- Aplicar la carga continua; esta carga debe ser progresiva.
- Una vez que la probeta llegue a su capacidad ultima, se debe tomar los datos de la resistencia que llevo a soportar dicha probeta.
- Finalmente, identificar el tipo de falla de acuerdo con la imagen siguiente.

*Figura 3: Variantes de fallos en la prueba de compresión*



Fuente: [42]

- **Ensayo de resistencia a la flexión de vigas de concreto**

**Definición**

La prueba de resistencia a flexión del concreto es una característica mecánica significativa que determina la capacidad de carga que puede soportar un espécimen de concreto cuando se aplica carga a los tercios de la distancia entre los apoyos de la viga.

Norma: N.T.P. 339.078 [43].

**Equipos y materiales**

- Máquina universal total mente calibrada.
- Especímenes de concreto (vigas).

**Procedimiento**

- Registrar las dimensiones de cada viga (en los tercios de la distancia entre los apoyos de la viga) y verificar la ubicación del fallo, ya que esto afectará el cálculo del módulo de rotura. La carga debe aplicarse de forma uniforme y constante.
- La carga se debe aplicar de manera uniforme y constante.
- Es importante destacar que en todos los ensayos que se llevarán a cabo, la rotura de la viga debe ocurrir en el centro de esta. Por lo tanto, el módulo de rotura se puede calcular de la siguiente manera.

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

$M_r$  : Módulo de rotura (MPa)

$P$  : Carga máxima de rotura (N)

$L$  : Luz libre entre apoyos (mm)

$b$  : Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)

$h$  : Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)

- **Ensayo de fisuración del concreto**

**Definición**

Para llevar a cabo esta prueba, seguimos las pautas establecidas en la norma ASTM C 1579. Esta regulación se aplica principalmente a concretos reforzados con fibras, pero en la sección 4.2 se menciona que también se puede utilizar para comparar el comportamiento del concreto al agregar diferentes cantidades de aditivos.

Norma: ASTM C 1579 [44].

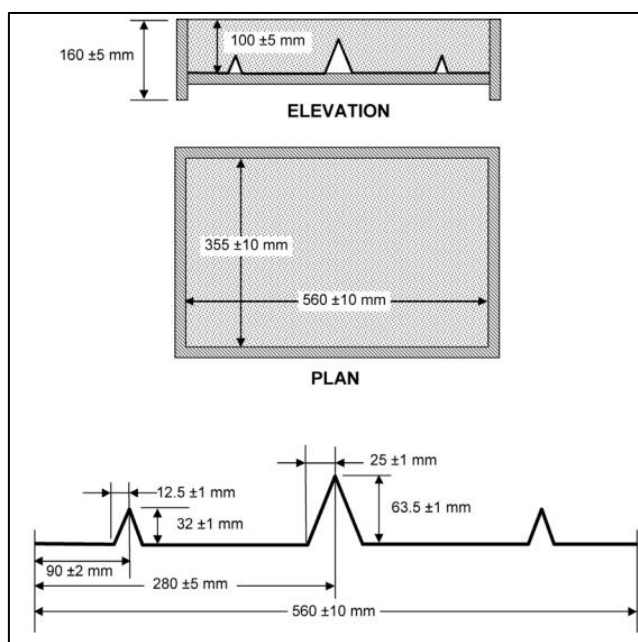
**Equipos y materiales**

- Molde para el concreto.
- Plancha de albañilería
- Tarjera para medir las fisuras.
- Anemómetro.

**Procedimiento**

- Primeramente, se elaboró un molde para la vaciar la mezcla de concreto, dicho molde posee las medidas que cumplan con la norma mencionada. El modelo contara con muescas triangulares que servirán para medir la fisuración del concreto.
- La presente norma ASTM C 1579 menciona que los recipientes o moldes deben estar expuestos a una temperatura, humedad relativa específica y velocidad de viento.
- Una vez transcurrido el tiempo necesario se verificarán y medirán las fisuras que tiene el concreto.

Figura 4: Medidas del molde para la prueba de fisuración



Fuente: [44]

- **Densidad del cemento**

**Definición**

Este ensayo sirve para determinar la densidad del cemento portland y se usara para hallar la densidad del biocarbón.

Norma: NTP 334.005 [45].

**Equipos y materiales**

- Balanza
- Embudos
- Termómetro
- Baño termorregulador
- Frasco volumétrico de Le Chatelier

**Procedimiento**

- En primer lugar, se requiere llenar un recipiente con un líquido que tenga una densidad superior a  $0,73$  g/mL a una temperatura de  $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ , por ejemplo, keroseno libre de agua o nafta. El llenado debe realizarse hasta un punto del cuello del recipiente entre las marcas de  $0$  mL y  $1$  mL.

- A continuación, se deben agregar pequeñas porciones de cemento, pesándolo con aproximación de 0,05 g (aproximadamente 64 g para cemento Portland), y a la misma temperatura que el líquido.
- Es importante tener cuidado para evitar salpicaduras y asegurarse de que el cemento no se adhiera a las paredes internas del recipiente, especialmente sobre el líquido. Si es necesario, se puede utilizar un dispositivo de vibración para facilitar la introducción del cemento y evitar que se adhiera en el cuello del recipiente.
- Una vez que se haya agregado todo el cemento, se coloca el tapón en el recipiente y se rota suavemente en una posición inclinada o en círculos horizontales, de manera que se libere el aire atrapado en el cemento y no se observen burbujas de aire en la superficie del líquido.
- Si se ha añadido la cantidad adecuada de cemento, el nivel final del líquido se ubicará en alguna de las marcas superiores de graduación. La lectura final debe tomarse después de sumergir el recipiente en un baño de agua.
- Sumergir el recipiente en un baño de agua a una temperatura constante durante un tiempo suficiente para evitar que las variaciones de temperatura del recipiente sean superiores a 0,2 °C entre las lecturas inicial y final.

### Cálculos

$\rho(\text{Mg/m}^3) = \rho(\text{g/cm}^3) = \text{masa de cemento, g/volumen de líquido desplazado, cm}^3$

- **Ensayo del módulo de elasticidad del concreto**

#### Definición

La prueba de módulo de elasticidad del concreto nos proporciona información sobre la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria, así como la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal en el concreto endurecido a cualquier edad.

Norma: ASTM C 469 [46].

#### Equipos y materiales

- Máquina de ensayo: Usar una máquina que sea capaz de aplicar una carga y a una velocidad constante.
- Compresómetro: Dispositivo que puede ser adherido o no, que incluye un sensor capaz de medir la deformación promedio de dos líneas de referencia diametralmente opuestas, cada una paralela al eje axial y ubicada cerca del centro de altura del espécimen.

### Procedimiento

- En primer lugar, se procede a medir la longitud y el diámetro de un cilindro de concreto y realizar el ensayo de resistencia a compresión siguiendo la N.T.P. 339.034.
- Colocar el cilindro de prueba en el bloque de soporte inferior de la máquina de ensayo, junto con el dispositivo de medición de deformación. Alinear cuidadosamente el eje del cilindro con el centro de la articulación superior del cabezal de soporte. A medida que el bloque superior de soporte desciende lentamente sobre el cilindro, girar suavemente la parte móvil del bloque hasta obtener un soporte uniforme.
- Realizar al menos dos ciclos de carga en el cilindro. No registrar datos durante el primer ciclo. Realizar los cálculos basados en los promedios de los siguientes ciclos de carga.
- Cuando sea posible, obtener el módulo de elasticidad y la resistencia en el mismo ciclo de carga, siempre que los deformómetros sean desechables, removibles o estén adecuadamente protegidos para cumplir con los requisitos de carga continua. En este caso, registrar múltiples lecturas y determinar, mediante interpolación, el valor de la deformación unitaria al 40% de la carga máxima.
- Si se toman lecturas intermedias, trazar los resultados de los tres ensayos con la deformación unitaria longitudinal en el eje x y el esfuerzo de compresión en el eje y. Calcular el esfuerzo de compresión dividiendo el valor de la carga en la máquina de ensayo por el área transversal del cilindro.

### Cálculos

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad, MPa.

S2: esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa.

S1: Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal,  $\epsilon_1$ , de 50 millonésimas, en MPa.

$\epsilon_2$ : Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S2, en millonésimas:  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ ).

Calcular la relación de Poisson con una aproximación de 0.01 de la siguiente manera:

$$\mu = (\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde:

$\mu$ : Relación de Poisson.

$\epsilon_{t2}$ : Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por S2 en millonésimas:  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ )

$\epsilon_{t1}$ : Deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S1 en millonésimas:  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg.}$ )

## Norma ASTM C618

La norma ASTM C618, titulada "Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto", establece los requisitos y especificaciones necesarios para que las cenizas volantes y puzolanas naturales sean consideradas como adiciones minerales en la elaboración de concreto y otros materiales de construcción. Esta norma define aspectos importantes como el porcentaje de composición química requerido para ser clasificadas como puzolanas, así como sus propiedades físicas, como la finura. Además, la norma proporciona directrices para la clasificación, almacenamiento, manejo y uso adecuado de estos materiales en proyectos de construcción. La norma ASTM C618 es ampliamente reconocida y utilizada en la industria de la construcción para consolidar la calidad y el rendimiento de las adiciones minerales en aplicaciones de concreto [47].

*Tabla 11: Requisitos químicos*

	CLASE		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) más óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) más óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min., %	70.00	70.00	50.00
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx., %	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, máx., %	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, máx., %	10.0	6.0 <sup>A</sup>	6.0

*Fuente:* [47]

## **Materiales y métodos**

### **Método, tipo, nivel de la investigación e hipótesis**

#### **Método de investigación**

El propósito de este estudio es comprobar la hipótesis planteada y alcanzar los objetivos establecidos. Para lograrlo, se aseguró un enfoque de investigación cuantitativa. Este enfoque se basa en la colección y análisis de datos numéricos para obtener resultados precisos y medibles.

#### **Tipo de investigación**

La presente investigación es del tipo EXPERIMENTAL.

En este tipo de investigación, se manipula la variable independiente (biocarbón de restos de madera como molle costeño, molle serrano, árbol de meijo, árbol de ficus y árbol de tulipan) y se desarrolla un nuevo diseño experimental con el propósito de obtener resultados a través de varias pruebas de laboratorio. De esta manera, se busca demostrar la hipótesis planteada y obtener conclusiones basadas en evidencia empírica.

#### **Nivel de investigación**

Acorde a la adición de diferentes de porcentajes de biocarbón (restos de madera) a la mezcla de concreto, el nivel de investigación es del tipo: APLICATIVO

El enfoque aplicativo se se sustenta en la utilización práctica de los conocimientos teóricos y científicos adquiridos durante la formación académica. En este caso, se utilizarán los principios de la ingeniería civil para diseñar y realizar ensayos de laboratorio con la finalidad

de alcanzar resultados concretos y aplicar en la construcción de elementos estructurales de concreto.

### **Hipótesis**

La hipótesis que se propuso en esta investigación es: Las propiedades físicas y mecánicas del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  pueden mejorar al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera en distintas dosificaciones (1%, 2% y 2.5% del peso del cemento).

### **Diseño de investigación**

El diseño de este estudio se centra en la manipulación de la variable independiente (biocarbón) la cual se divide en dos condiciones, ya sea presente o ausente. Una vez que la variable independiente ha sido establecida, se procederá a medir la variable dependiente tanto para los grupos de control como para los grupos experimentales. En esta investigación, se han considerado varias variables dependientes, tales como el asentamiento del concreto (Slump), la exudación del concreto, el peso unitario de la mezcla, el tiempo de fraguado, la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad y la fisuración.

A continuación, se muestra el diagrama de diseño del presente estudio:

$$\begin{aligned} R G_1 &\rightarrow B_1 \rightarrow X_1 \\ R G_2 &\rightarrow B_2 \rightarrow X_2 \\ R G_3 &\rightarrow B_3 \rightarrow X_3 \\ R G_4 &\rightarrow - \rightarrow X_4 \end{aligned}$$

Donde:

**R:** Muestras de concreto para el grupo experimental y grupo de control.

**G1, G2, G3:** Grupos experimentales.

**G4:** Grupo de control.

**B:** Variaciones de la variable independiente (biocarbón) para el grupo experimental.

**B1:** Proporción de Biocarbón de restos de madera al 1% del peso del cemento.

**B2:** Proporción de Biocarbón de restos de madera al 2% del peso del cemento.

**B3:** Proporción de Biocarbón de restos de madera al 2.5% del peso del cemento.

–: Grupo de control sin manipulación de la variable independiente (Biocarbón).

**X1, X2, X3:** Hallazgos de las variables dependientes (características del concreto) en los grupos experimentales.

**X4:** Resultado de la variable dependiente (características del concreto) en el grupo de control.

A continuación, se mostrará una tabla abreviando los grupos experimentales y el grupo de control:

*Tabla 12: Clasificación de los grupos experimentales y del grupo de control.*

<b>GRUPOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>
GRUPO EXPERIMENTAL G1	BEG 1 %
GRUPO EXPERIMENTAL G2	BEG 2 %
GRUPO EXPERIMENTAL G3	BEG 2.5 %
GRUPO DE CONTROL	CONCRETO PATRÓN

*Fuente: Creación propia*

*Tabla 13: Componentes del diseño de investigación*

<b>GRUPOS</b>		<b>EXISTENCIA DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		<b>POST-PRUEBA</b>	
<b>GRUPO EXPERIMENTAL</b>	G1	B1	Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 1% del peso del cemento	X1	Resultados de las propiedades del concreto en estrado fresco y en estado endurecido.
	G2	B2	Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 2% del peso del cemento	X2	
	G3	B3	Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 2.5% del peso del cemento	X3	
<b>GRUPO DE CONTROL</b>	G4	–	Cero	X4	

*Fuente: Creación Propia*

## **Población, muestra y muestreo**

### **Población**

La población en esta investigación se refiere al conjunto de probetas de concreto con una resistencia específica de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , de acuerdo con las normas de construcción aplicables. Estas probetas representan el objeto de estudio y conforman el grupo al cual se dirigirá la investigación.

### **Muestra**

La muestra está compuesta por el conjunto de muestras de concreto con una resistencia especificada de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales serán elaboradas utilizando agregados naturales, agua, cemento y biocarbón. Estas probetas representarán los elementos seleccionados para ser evaluados en la investigación, permitiendo analizar los efectos de la mejora de biocarbón en las características del concreto.

### **Muestreo**

Puesto que, la muestra está acorde con la población el muestreo empleado en este estudio será por métodos no aleatorios y el tipo de muestreo será no probabilístico por juicio o criterio. Este método de selección se basa en la experiencia y conocimiento del investigador para elegir cuidadosamente las probetas de concreto que mejor representan las características y propiedades deseadas para el estudio. De esta manera, se garantiza que la muestra sea adecuada y relevante para el análisis de los efectos del biocarbón en el concreto.

Ensayo de asentamiento (slump):

Tabla 14: Muestra del ensayo de asentamiento

Tipo de mezcla	Ensayo de consistencia (Slump)	
	Probetas	Total
Mezcla patrón	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Fuente: Creación Propia

Peso unitario de la mezcla:

Tabla 15: Muestra del ensayo de peso unitario de mezcla

Tipo de mezcla	Peso unitario de la mezcla	
	Probetas	Total
Mezcla patrón	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Fuente: Creación Propia

Ensayo de exudación:

Este fenómeno se caracteriza por tres indicadores: capacidad de exudación (expresada como la cantidad de agua exudada en porcentaje del volumen total de agua), velocidad y duración de la absorción de agua. Estos indicadores son el resultado de la acumulación de partículas sólidas, lo que provoca una alta relación agua-cemento (A/C) en la parte superior de la mezcla y una capa superficial débil. Por lo tanto, es importante evaluar la influencia del biocarbón en este aspecto, ya que, al ser un material absorbente, puede retener el agua y minimizar el ascenso.

*Tabla 16: Muestra del ensayo de exudación*

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>Ensayo de Exudación</b>	
	<b>Probetas</b>	<b>Total</b>
Mezcla patrón	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

*Fuente: Creación Propia*

Ensayo de tiempo de fraguado inicial

Tabla 17: Muestra del ensayo de tiempo de fraguado

Tipo de mezcla	Ensayo de tiempo de fraguado	
	Probetas	Total
Mezcla patrón	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	1	1
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Fuente: Creación Propia

Ensayo de resistencia a compresión del concreto

Se define como la máxima capacidad de carga que puede soportar un prototipo de concreto, en este caso, una probeta. Es una propiedad mecánica fundamental que determina la calidad y la capacidad estructural del concreto.

En este estudio investigativo, se llevará a cabo este ensayo utilizando probetas cilíndricas de concreto. Estas probetas se curarán en dos condiciones diferentes: en condiciones húmedas y al aire libre (sin contacto con el agua). Se ha considerado el curado al aire libre debido a investigaciones previas relacionadas con el biocarbón, las cuales demostraron que este tipo de curado puede proporcionar una resistencia similar al curado del concreto en condiciones húmedas, gracias a las propiedades de absorción del biocarbón. En este caso, se han considerado tres probetas de concreto para cada día y cada dosificación, con el objetivo de obtener datos más precisos. Estos resultados se promediarán para obtener un único valor de resistencia a compresión ( $f_c$ ) por cada día y cada dosificación, con el fin de tener una información más exacta y representativa.

Tabla 18: Especímenes para el ensayo de resistencia a compresión del concreto sometido a curado húmedo

Tipo de mezcla	Ensayo de rotura a compresión (curado húmedo)				
	7 días	14 días	28 días	56 días	Total
Mezcla patrón	3	3	3	3	12
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	3	3	3	3	12
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	3	3	3	3	12
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	3	3	3	3	12
<b>TOTAL</b>	12	12	12	12	<b>48</b>

Fuente: Creación propia

Tabla 19: Especímenes para el ensayo de resistencia a compresión del concreto sometido a curado al aire libre

Tipo de mezcla	Ensayo de rotura a compresión (curado al aire libre)		
	14 días	28 días	Total
Mezcla patrón	3	3	6
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	3	3	6
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	3	3	6
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	3	3	6
<b>TOTAL</b>	12	12	<b>24</b>

Fuente: Creación propia

Ensayo de resistencia a flexión del concreto:

En este caso se están realizando dos tipos de vigas. Un tipo se someterá a condiciones de curado húmedo, sumergiéndolas en una piscina, mientras que el otro tipo de viga se curará al aire libre. Esta variación en el curado se lleva a cabo con el objetivo de determinar y comparar qué tipo de curado produce mejores resultados en términos de resistencia a la flexión. De esta manera, podremos validar o refutar nuestra hipótesis propuesta en la investigación.

Tabla 20: Especímenes para el ensayo de resistencia a flexión del concreto sometido a curado húmedo

Tipo de mezcla	Ensayo de rotura a flexión (curado húmedo)			
	7 días	28 días	56 días	Total
Mezcla patrón	3	3	3	9
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	3	3	3	9
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	3	3	3	9
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	3	3	3	9
<b>TOTAL</b>	12	12	12	<b>36</b>

Fuente: Creación Propia

Tabla 21: Especímenes para el ensayo de resistencia a flexión del concreto sometido a curado al aire libre

Tipo de mezcla	Ensayo de rotura a flexión (curado al aire libre)	
	28 días	Total
Mezcla patrón	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	3	3
<b>TOTAL</b>	12	<b>12</b>

Fuente: Creación Propia

Ensayo de módulo de elasticidad del concreto:

Tabla 22: Especímenes para el ensayo de módulo de elasticidad del concreto

Tipo de mezcla	Ensayo de módulo de elasticidad	
	28 días	Total
Mezcla patrón	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	3	3
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Fuente: Creación propia

Ensayo de fisuración del concreto:

Tabla 23: Especímenes para el ensayo de fisuración

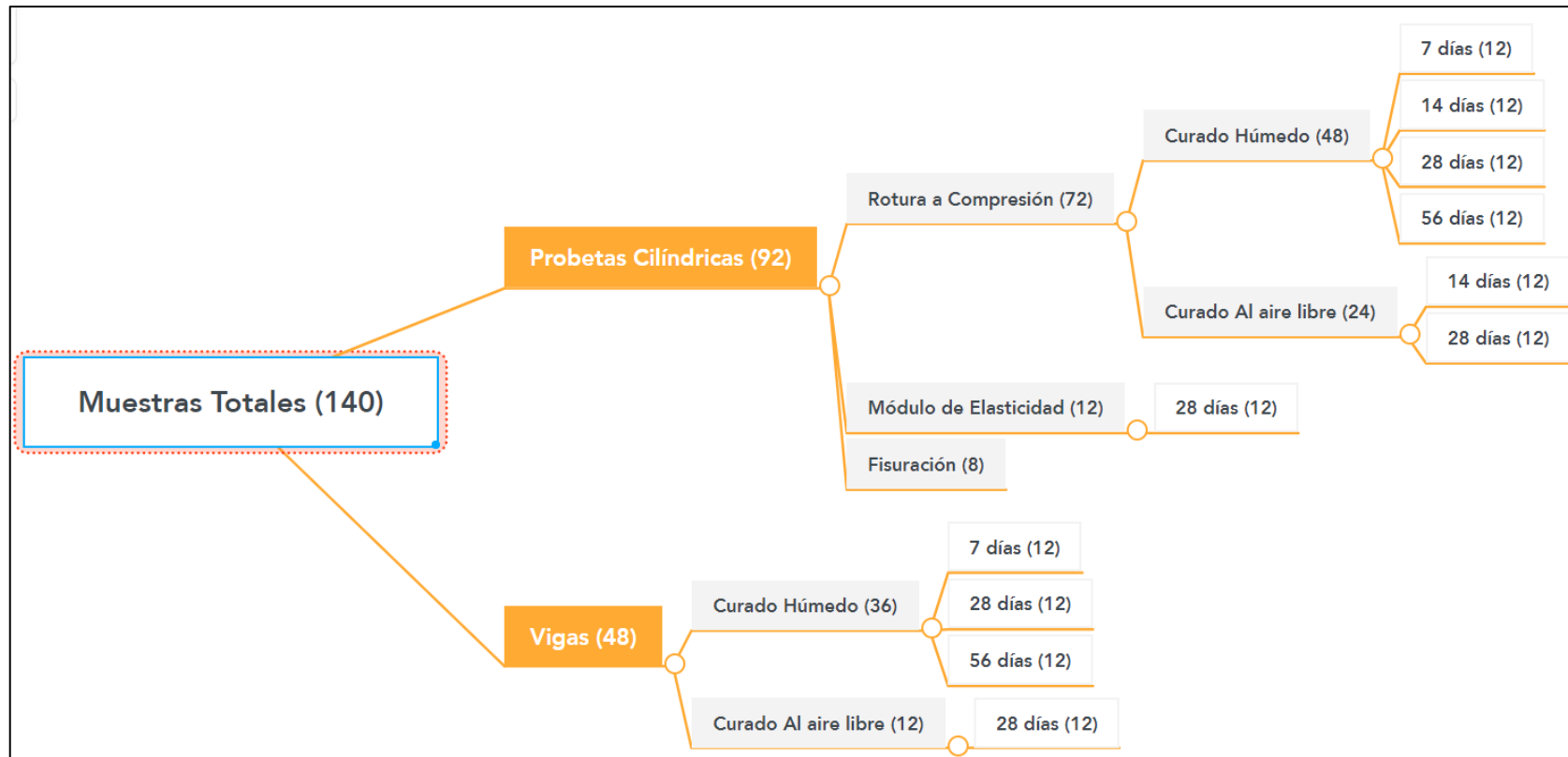
Tipo de mezcla	Ensayo de fisuración	
	Probetas	Total
Mezcla patrón	2	2
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 1 %	2	2
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2 %	2	2
Mezcla con dosificación de Biocarbón al 2.5 %	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Fuente: Creación propia

A continuación, se presenta un resumen del demostrado realizado, considerando un total de 140 muestras a ensayar. Estas se dividen en 92 probetas cilíndricas y 48 vigas.

Las probetas cilíndricas se someten a tres tipos de ensayos. En el ensayo de compresión se analizan 72 probetas, de las cuales 48 son expuestas a curado húmedo y 24 a curado al aire libre. El módulo de elasticidad se evalúa en 12 probetas que son sometidas únicamente a curado húmedo. Además, se realizará un ensayo de fisuración, para cual se dimensionarán los moldes de acuerdo con la norma ASTM C 1579.

Figura 5: Resumen de muestras



Fuente: Creación Propia

## **Criterios de selección**

El muestreo utilizado en esta investigación es no probabilístico por juicio o criterio, como se mencionó anteriormente. Esta elección se basa en la experiencia y el conocimiento de otras investigaciones relacionadas con la población y las propiedades específicas del estudio. Es importante recalcar que el diseño de la mezcla se ha desarrollado para un concreto con una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , tanto en el grupo de control como en los grupos experimentales. Además, esta resistencia es adecuada para su uso en estructuras que no están en contacto directo con la cimentación en la ciudad de Chiclayo, donde el suelo contiene sulfatos que pueden dañar el concreto. Por esta razón, se ha optado por utilizar cemento Portland Tipo I en este proyecto de investigación.

### **Selección del Agregado fino y agregado grueso**

Para la selección del agregado fino, se recolectó de la cantera La Victoria - Pátapo, mientras que el agregado grueso se extrajo de la Cantera Tres Tomas - Ferreñafe.

### **Selección del Biocarbón de restos de madera**

El biocarbón, también conocido como biochar, es un residuo sólido que se obtiene a través de la combustión térmica controlada (pirólisis) de materia orgánica o biomasa, como madera, desechos animales y vegetales, en un entorno con bajo contenido de oxígeno. Este proceso anaeróbico, conocido como pirólisis, transforma la biomasa residual en un material carbonoso que se caracteriza por su microestructura porosa y una mayor resistencia a la degradación en comparación con el material original.

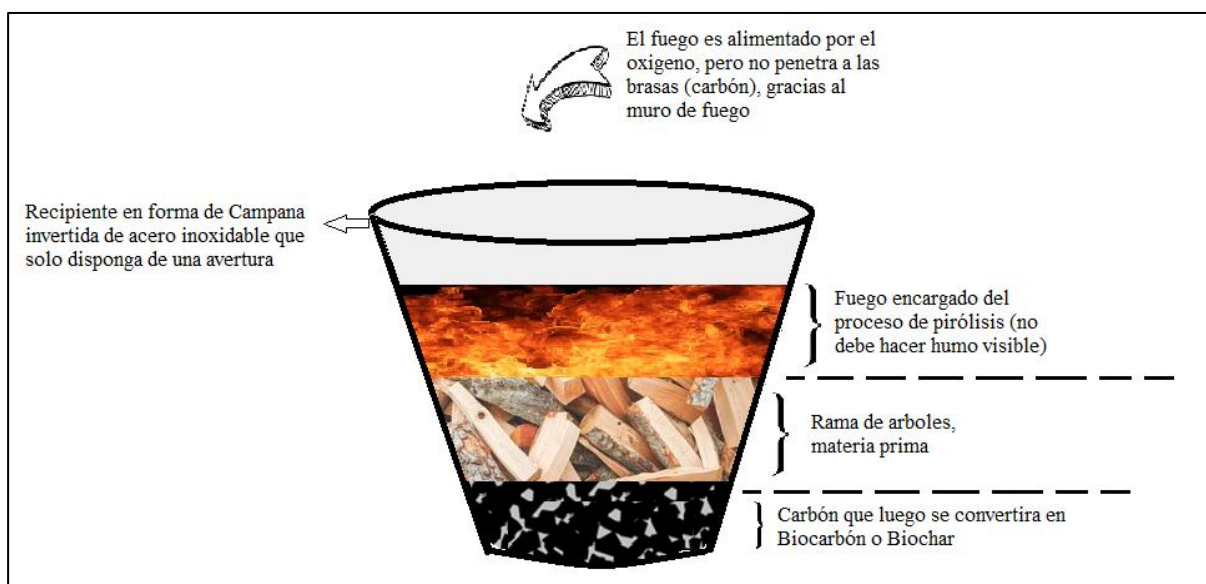
El biocarbón es procedente de la ciudad de Lima, específicamente en Circuito de Playas de la Costa Verde 36, Magdalena del Mar 15076. La entidad responsable de la producción de este producto es la Municipalidad Magdalena del Mar.

### **Procedimiento**

- La Municipalidad Magdalena del Mar tiene un programa de valoración de residuos sólidos, por lo tanto, el biocarbón que se utilizó para realizar esta investigación es procedente de restos de madera (Molle costeño, molle serrano, árbol de meijo, árbol de ficus y árbol de tulipan) y procesado en su planta de valorización.

- En primer lugar, se seleccionan y recolectan los residuos de madera adecuados, como ramas, troncos o restos de poda. Estos materiales se cortan en trozos más pequeños y secan al aire libre para reducir su contenido de humedad.
- En segundo lugar, se prepara el horno pirolítico que tiene la forma de un recipiente en forma de campana invertida, se prepara para su encendido. Se asegura de que esté limpio y libre de obstrucciones.
- En tercer lugar, se introducen cuidadosamente residuos pequeños de madera en el horno. Estos residuos ayudarán a iniciar el proceso de combustión y generar las primeras llamas.
- En cuarto lugar, se utiliza un soplete modificado que está conectado a un balón de gas para proporcionar una fuente de ignición. El soplete se dirige hacia los residuos de madera dentro del horno, lo que permite encender las llamas. El calor generado por el soplete permite que los residuos de madera se incendien y se generen las primeras llamas dentro del horno. Es importante controlar y regular la intensidad del fuego para garantizar una combustión eficiente y controlada.
- En quinto lugar, una vez que las llamas iniciales están estables, se agregan más ramas al horno pirolítico. Estas ramas proporcionarán el combustible necesario para mantener la temperatura y el proceso de pirólisis. El horno se mantiene a una temperatura aproximada de 500°C, que es óptima para la combustión térmica de la materia orgánica y la formación de brasas de carbón. Es importante controlar y regular la temperatura para garantizar un pirólisis eficiente. Cabe resaltar que el diseño del horno pirolítico se enfoca en minimizar la contaminación de CO<sub>2</sub>. Debido a las condiciones de baja disponibilidad de oxígeno dentro del horno, se favorece la producción de carbón y otros subproductos gaseosos, en lugar de una combustión completa que genera altas emisiones de dióxido de carbono. A diferencia de la quema natural de madera, en el proceso de pirólisis no se observa un humo significativo. Esto se debe a las condiciones de combustión controladas de temperatura y la falta de oxígeno dentro del horno, lo cual evita la incompleta y la generación excesiva de humo.
- En sexto lugar, las brasas de biocarbón se retirarán cuidadosamente del horno pirolítico y se colocarán en un área designada para su almacenamiento y posterior enfriamiento.

Figura 6: Proceso de fabricación del Biocarbón o Biochar



Fuente: Creación Propia



Figura 7: Tesista en la Planta de valorización de residuos sólidos orgánicos



Figura 8: Tesista y el Ingeniero encargado de la producción de Biochar



Figura 9: Horno pirolítico y ramas secas que pasaran a convertirse en Biocarbón



Figura 10: Biocarbón después del proceso de pirolisis

Fuente: Propia

- En séptimo lugar, se emplea un molino manual para moler el biocarbón. El biocarbón se introduce en el molino y se muele hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo y fino. Es importante garantizar que el molino esté limpio antes de comenzar la molienda y asegurarse de que esté en buen estado de funcionamiento para obtener un resultado óptimo. Una vez completada la molienda, el biocarbón molido se almacena en recipientes adecuados, protegidos de la humedad y otros factores que pueden afectar su calidad.
- En octavo lugar, una vez obtenido el biocarbón molido, se procedió a su secado en un horno a una temperatura controlada de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  un período de 24 horas. Durante el secado, es fundamental mantener una temperatura constante y controlada para evitar posibles alteraciones en las propiedades del biocarbón. Asimismo, se debe garantizar una circulación de aire adecuada en el horno para facilitar el proceso de eliminación de la humedad. Una vez finalizado el tiempo de secado, se retira el biocarbón del horno y se almacena en condiciones adecuadas, protegido de la humedad y otros factores ambientales que pueden afectar su calidad.
- En noveno lugar, tamizamos el biocarbón para garantizar la uniformidad de las partículas de biocarbón molidas, se sometió al biocarbón a un tamizado utilizando una malla número 50 (0.3 mm). Esta acción se realizó debido a que las mallas de aberturas más pequeñas resultaron inadecuadas, ya que desperdiciaban una cantidad significativa de biocarbón o no permitirían pasar la cantidad necesaria para los ensayos requeridos. El tamizado se llevó a cabo de manera cuidadosa, asegurando que todas las partículas pasaran por la malla y se obtuviera un tamaño de partícula uniforme. Esto es importante para garantizar la consistencia en los resultados de los ensayos y facilitar la manipulación del biocarbón en las etapas posteriores del proceso. Es esencial tener en cuenta la precisión y cuidado al realizar el tamizado, evitando la pérdida o contaminación del biocarbón durante el proceso. Además, se debe realizar una limpieza adecuada de la malla y otros equipos utilizados para mantener la calidad y pureza del biocarbón.
- En décimo lugar, una vez completado el tamizado, el biocarbón se encuentra listo para ser utilizado en los ensayos correspondientes o para su almacenamiento en condiciones adecuadas, protegido de la humedad y otros factores externos que pueden afectar su calidad.



*Figura 11: Molino utilizado para triturar el biocarbón*



*Figura 12: Biocarbón sin proceso de molienda*



*Figura 13: Biocarbón pasado por el molino manual*



*Figura 14: Biocarbón puesto al horno*



*Figura 15: Tesista tamizando el biocarbón*



*Figura 16: Biocarbón tamizado por la malla N° 50*

*Fuente: Propia*

## Operacionalización de variables

Tabla 24: Operacionalización de variables

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍNDICE
INDEPENDIENTE	Biocarbón de restos de madera	Temperatura y tiempo de calcinación	Tiempo y grado (C°) de calcinación	Horno pirolítico	min, (C°)
		Componentes químicos	Fluorescencia de rayos X	Dispositivo EDX-800HS	%
		Proporciones de Biocarbón de restos de madera	1.0 % del peso del cemento	Balanza	kg
			2.0 % del peso del cemento	Balanza	kg
2.5.0 % del peso del cemento	Balanza		kg		
DEPENDIENTE	Diseño de mezclas	Cantidad de materiales	Cemento	Balanza	Kg
			Agregado fino	Balanza	Kg/m <sup>3</sup>
			Agregado grueso	Balanza	Kg/m <sup>3</sup>
			Agua	Balanza	ml
	Comportamiento del concreto	Ensayos del concreto: Estado fresco	Asentamiento (Slump)	Según NTP 339.035	Pulgadas
			Exudación	Según NTP 339.077	%
			Peso Unitario de la mezcla	Según NTP 339.046	Kg/m <sup>3</sup>
			Tiempo de fraguado	Según NTP 339.082	hr
		Ensayos del concreto: Estado endurecido	Resistencia a la compresión	Según NTP 339.034	Kgf/cm <sup>2</sup>
			Resistencia a la flexión	Según NTP 339.078	Kgf/cm <sup>2</sup>
			Fisuración	Norma ASTM C 1579	mm
			Módulo de elasticidad	Norma ASTM C 469	
	Evaluación de impacto ambiental	Contaminación	Suelo	Evaluación de impacto ambiental - Matriz de Leopold	Nivel de impacto
			Aire		
Agua					
Costo de producción del concreto	Costo por m3	Análisis de costo unitario	Hojas de Excel	Soles	
INTERVINIENTES	Materiales	Características	Granulometría de los agregados	Según NTP 400.012	%
			Peso unitario de los agregados (suelto y compacto)	Según NTP 400.017	Kg/m <sup>3</sup>
			Contenido de humedad de los agregados	Según NTP 339.185	%
			Peso específico y capacidad de absorción de los agregados	Según NTP 400.021 y NTP 400.022	%
			Módulo de fineza del agregado fino	Según NTP 400.018	
			Tipo de cemento	Según NTP 334.082 y NTP 334.090	Tipo 1

Fuente: Creación propia

## Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describen los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos que se usarán en el presente estudio:

Tabla 25: Métodos, Técnicas e instrumentos

MÉTODOS	ENSAYOS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Experimental		Análisis granulométrico de los agregados (Según NTP 400.012)	
		Peso unitario de los agregados suelto y compacto (Según NTP 400.017)	
	Ensayos para agregados y biocarbón	Contenido de humedad de los agregados (Según NTP 339.185)	
		Peso específico y capacidad de absorción de los agregados (Según NTP 400.021 y NTP 400.022)	
		Peso específico del Biocarbón (NTP 334.005)	Se utilizarán formatos de laboratorio,
		Módulo de fineza del agregado fino (Según NTP 400.018)	balanzas, hornos,
	Diseño de mezclas	Diseño de mezclas usando el método del comité 211 del ACI	tamices normalizados,
		Asentamiento (SLUMP) (Según NTP 339.035)	moldes, probetas,
		Ensayos de exudación (Según NTP 339.077)	cono de Abrams,
		Ensayo de peso unitario de la mezcla (Según NTP 339.046)	varilla lisa,
	Ensayos para concreto	Ensayos para calcular el tiempo de fraguado (Según NTP 339.082)	compactadoras,
		Ensayo de resistencia a compresión (Según NTP 339.034)	máquina de compresión, etc.
		Ensayo de resistencia a flexión (Según NTP 339.078)	
		Ensayo de módulo de elasticidad ()	
	Ensayo de Fisuración (Norma ASTM C 1579)		

Fuente: Creación Propia

## Procedimientos

Para que el presente proyecto de investigación se lleve a cabo, se han desarrollado distintos ensayos en laboratorio, por lo cual se estará detallando a continuación cada uno de ellos:

### Procedimiento para llevar a cabo los ensayos de los agregados

#### Análisis granulométrico de los agregados

##### a. Procedimiento del análisis granulométrico del agregado fino:

El agregado fino utilizado en esta investigación proviene de la cantera La Victoria - Pátapo. Se secó una muestra de 500 gramos en un horno a una temperatura controlada. Después del secado, se pesó la muestra seca, obteniendo un total de 490.4 gramos. Este procedimiento garantiza que el agregado esté libre de humedad adicional y permite una preparación precisa de las mezclas y ensayos.



*Figura 17: Tesista anotando el peso de la muestra de agregado fino*



*Figura 18: Tesista con tamices del agregado fino*



*Figura 19: Muestra de agregado fino*

*Fuente: Propia*

##### b. Procedimiento del análisis granulométrico del agregado grueso:

El agregado grueso utilizado en este estudio proviene de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe. Se tomó una muestra inicial de 15.011 kg y se secó en un horno controlado. Después del proceso de secado, se pesó la muestra seca, obteniendo un total de 14.958 kg.



*Figura 20: Tesista realizando ensayo granulométrico*



*Figura 21: Cuarteo del agregado grueso*



*Figura 22: Tamices para el ensayo de agregado grueso*

*Fuente: Propia*

### **Ensayo de contenido de humedad de los agregados**

Ambos agregados se encontraban en estado húmedo al momento de su recolección. Todos los procesos relacionados con los agregados se llevaron a cabo siguiendo las normas técnicas correspondientes, específicamente la N.T.P. 339.185.

#### **a. Contenido de Humedad del agregado fino y agregado grueso:**

Se procedió a realizar la prueba de % de humedad en el A. fino y agregado grueso. Se pesaron 500 gramos de agregado fino y 927.6 gramos de A. grueso, ambas muestras se encontraban en estado húmedo al momento del pesaje.



*Figura 23: Dejando los agregados al horno*



*Figura 24: Tesista sacando los agregados del horno*



*Figura 25: Agregado fino*

*Fuente: Propia*

### **Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y agregado grueso**

Mediante este ensayo, se llevará a cabo la determinación del peso de una muestra seleccionada de los agregados, utilizando un recipiente con volumen conocido, siguiendo las pautas establecidas por la N.T.P. 400.017.

#### **a. Peso Unitario Suelto del agregado fino y agregado grueso**

El procedimiento consiste en pesar el molde o probeta que se utilizará, luego llenarlo con el material correspondiente y nivelar la superficie enrasándola. Posteriormente, se pesa nuevamente el molde con el material enrasado para conseguir el peso exacto del material contenido.



*Figura 26: Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino*



*Figura 27: Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso*

*Fuente: Propia*

### **b. Peso Unitario Compactado del agregado fino y agregado grueso**

Este ensayo se llevó a cabo realizando la misma acción tres veces de manera consecutiva. Compactando los materiales, posteriormente se sacó un promedio.



*Figura 28: Peso unitario compactado del agregado fino*



*Figura 29: Ensayo del peso unitario compactado del agregado grueso*

*Fuente: Propia*

### **Peso específico y capacidad de absorción de los agregados**

#### **a. Peso Específico y capacidad de absorción del agregado fino**

En el ensayo correspondiente, se sometió el agregado fino a un proceso de tamizado utilizando la malla N° 4. Posteriormente, se procedió a pesar una muestra de 0,50 kg de fino agregado.



*Figura 30: Muestra de agregado fino después de asentarse las partículas*



*Figura 32: Agregado fino retirado del horno*



*Figura 31: Ensayo de peso específico del agregado fino*

*Fuente: Propia*

### **b. Peso Específico y capacidad de absorción del agregado grueso**

En primer lugar, se realizó el procedimiento de lavado del agregado grueso. Posteriormente, la muestra lavada se sumergió en agua durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se llevó a cabo la pesada de la muestra, obteniendo un peso inicial. Seguidamente, se procedió a la etapa de secado de la muestra en un horno. Una vez retirada la muestra del horno y enfriada, se realizó una nueva medición de peso, obteniendo un valor de 1484 gramos.



*Figura 33: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso*

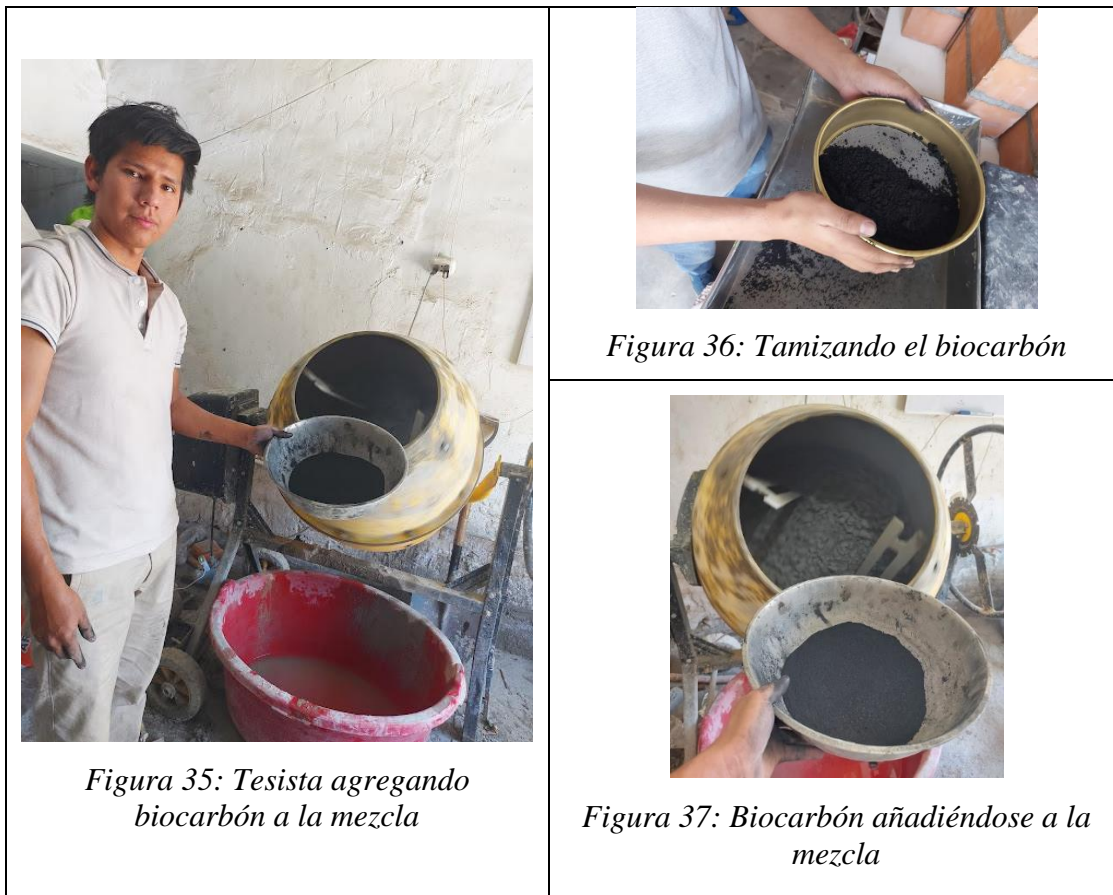
*Figura 34: Canastilla para el ensayo de peso específico y absorción*

*Fuente: Propia*

### **Procedimiento para la aplicación del biocarbón**

El material utilizado para esta investigación fue Biocarbón de restos de madera; en la sección de criterio de selección se menciona todo el procedimiento que se realizó para tener el biocarbon de la siguiente manera. También se efectuaron otros ensayos físicos y químicos como un análisis químico de difracción de rayos x mediante un dispositivo EDX-800Hs y el ensayo para determinar la densidad del biocarbón bajo la N.T.P. 334.005.

La cantidad de biocarbón que se utilizaba en cada mezcla estaba en función al peso del cemento. Estas dosificaciones que se usaron para la preparación de la mezcla de concreto fueron del 1%, 2% y 2.5% en reemplazo parcial del peso del cemento.



*Fuente: Propia*

Como se puede observar en las imágenes, el biocarbón se agrega a la mezcla con precaución debido a que las partículas finas tienden a dispersarse rápidamente en el aire. Para todos los porcentajes de biocarbón añadidos, se extrajo un porcentaje correspondiente de cemento para mantener un equilibrio de peso. Esto asegura que la cantidad de biocarbón añadida se compensará en proporción al peso del cemento.

### **Ensayo del peso específico del biocarbón**

Para realizar este ensayo se pesó 30 gr de biocarbón, y sobre todo se hizo bajo los lineamientos de la N.T.P. 334.005.



Figura 38: Determinación del peso específico del biocarbón



Figura 39: Biocarbón en reposo para enfriarse

Fuente: Propia

## Procedimiento para llevar a cabo los ensayos al concreto en estado fresco

### Ensayo de Asentamiento

Este ensayo nos permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco, así mismo, el grado de trabajabilidad. Todo el ensayo se desarrolló bajo la N.T.P. 339.035.

Es relevante resaltar que este ensayo se llevó a cabo de manera efectiva, con una duración mínima de 2 minutos y 40 segundos. Se aplicó tanto al patrón de concreto como a las mezclas de concreto que contenían biocarbón en diferentes dosificaciones.



Figura 40: Tesista midiendo el asentamiento del concreto



Figura 41: Ensayo de asentamiento

Fuente: Propia

### Ensayo de peso unitario de la mezcla

En primer lugar, se procedió a pesar el molde que se utilizara para el ensayo, el cual consistió en un molde de plástico. Es importante destacar que todo el ensayo se llevó a cabo siguiendo rigurosamente las directrices establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 339.046.



*Figura 42: Peso del molde*



*Figura 43: Peso del molde más la mezcla*

*Fuente: Propia*

### Ensayo de exudación

El método comenzó con la colocación de la muestra en un molde sobre una superficie plana y estable, asegurándose de que no hubiera vibraciones externas que pudieran afectar los resultados. A continuación, se procedió a extraer el agua cada 10 minutos durante un período total de 40 minutos. Después de transcurrido ese tiempo, se continuó extrayendo el agua exudada cada 30 minutos hasta que no se observó presencia de agua en la superficie de la muestra. Es importante destacar que el ensayo se llevó a cabo alrededor de las 3:00 pm, cumpliendo con los tiempos y condiciones establecidas en el procedimiento.



*Figura 44: Medición del agua exudada*



*Figura 45: Ensayo de exudación de la muestra patrón y las dosificaciones con biocarbon*



*Figura 46: Tesista agregando biocarbón a la mescladora*

*Fuente: Propia*

### **Ensayo de tiempo de fraguado de la mezcla de concreto**

El proceso comenzó con la mezcla de los componentes del concreto, seguido de la anotación precisa del momento en que se produjo el primer contacto entre el agua y el cemento. A continuación, se llenó el recipiente con la mezcla de concreto previamente tamizada a través de una malla de tamaño N° 4. Después de transcurridas aproximadamente 3 a 4 horas, se llevó a cabo el ensayo de penetración utilizando un penetrómetro con diferentes cargas. Se resalta que el ensayo se realizó en horas de la mañana, alrededor de las 10:00 am, siguiendo los protocolos establecidos.



*Figura 47: tamizando la mezcla por la malla N° 4*



*Figura 48: Procedimiento para el ensayo de tiempo de fraguado*



*Figura 49: Tomando lectura del resultado*



*Figura 50: Lectura de tiempo de fraguado*

*Fuente: Propia*

### **Elaboración y curado de probetas cilíndricas y vigas**

El primer paso en la fabricación de las muestras de concreto es calcular los diseños de mezcla para cada proporción requerida. Una vez completada esta etapa, se procede al vaciado de las probetas y vigas, las cuales se dejan reposar durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retiraron los moldes de las probetas y vigas para luego colocar las muestras correspondientes al curado húmedo en una piscina, mientras que otras muestras se dejan al aire libre, según los objetivos de la investigación.



*Figura 51: Vaciado de probetas y vigas de concreto*



*Figura 52: Probetas cilíndricas dentro de la piscina de curado*



*Figura 53: Desencofrado de vigas y probetas*



*Figura 54: Curado de probetas y vigas de concreto*

*Fuente: Propia*

## **Procedimiento para llevar a cabo los ensayos al concreto en estado endurecido**

### **Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto**

El ensayo en cuestión fue llevado a cabo siguiendo las directrices establecidas en la NTP 339.034. En este caso, se elaboraron pruebas en tres muestras cilíndricas de concreto, algunas resistieron a curado húmedo y otras a curado al aire libre. Se optó por utilizar tres probetas para garantizar una mayor precisión en la determinación de la resistencia a la compresión ( $f_c$ ), y al final se obtuvo un promedio de los resultados. Cabe destacar que la máquina utilizada para el ensayo debe estar debidamente calibrada para asegurar la confianza de los resultados.



*Figura 55: Rotura de probetas cilíndricas*



*Figura 56: Ensayo de resistencia a compresión*

*Fuente: Propia*

Es importante destacar que se realizó el ensayo tanto para las probetas sometidas a curado húmedo como para las probetas expuestas al curado al aire libre, siguiendo el cronograma establecido en el proyecto. Se realizó en diferentes intervalos de tiempo, específicamente a los 7, 14, 28 y 56 días, con el fin de evaluar la resistencia a la compresión a lo largo de este período.

### **Ensayo del módulo de elasticidad del concreto**

El ensayo se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM C 469. Se utilizaron anillos y un compresor para medir la deformación del concreto. La prueba se realizó específicamente a los 28 días posteriores al vaciado de los especímenes de concreto, ya que este período es largamente utilizado para evaluar la resistencia a la deformación del material.



*Figura 57: Compresómetro*



*Figura 59: Probeta junto al compresometro*



*Figura 58: Tesista ensayando el módulo de elasticidad del concreto con biocarbon al 2.5%*

*Fuente: Propia*

### **Ensayo de resistencia a la flexión de vigas de concreto**

Se anotó las medidas de cada viga (a los tercios de la luz de la viga), y también se verificó la posición de la falla, ya que de esto dependerá el cálculo del módulo de rotura. La carga se aplicó de manera uniforme y constante.



*Figura 60: Ensayo de rotura a flexión de vigas*



*Figura 61: Rotura de vigas de concreto*

*Fuente: Propia*

### Ensayo de fisuración del concreto

Para el ensayo de fisuración, se fabricaron moldes siguiendo las dimensiones especificadas por la norma ASTM C 1579. Una vez preparado el molde, se procedió a llenarlo con la mezcla de concreto. A continuación, se colocó en una cámara con un flujo de aire constante generado por un ventilador, y se produjeron periódicamente durante un período de 24 horas para detectar la aparición de fisuras. Una vez observadas las fisuras, se tomaron las medidas correspondientes.



*Figura 62: Tesista vaciando la mezcla hacia el molde*



*Figura 63: Tesista tomando lectura de la temperatura del concreto en estado fresco*



*Figura 64: Concreto patrón y biocarbon del 1%*

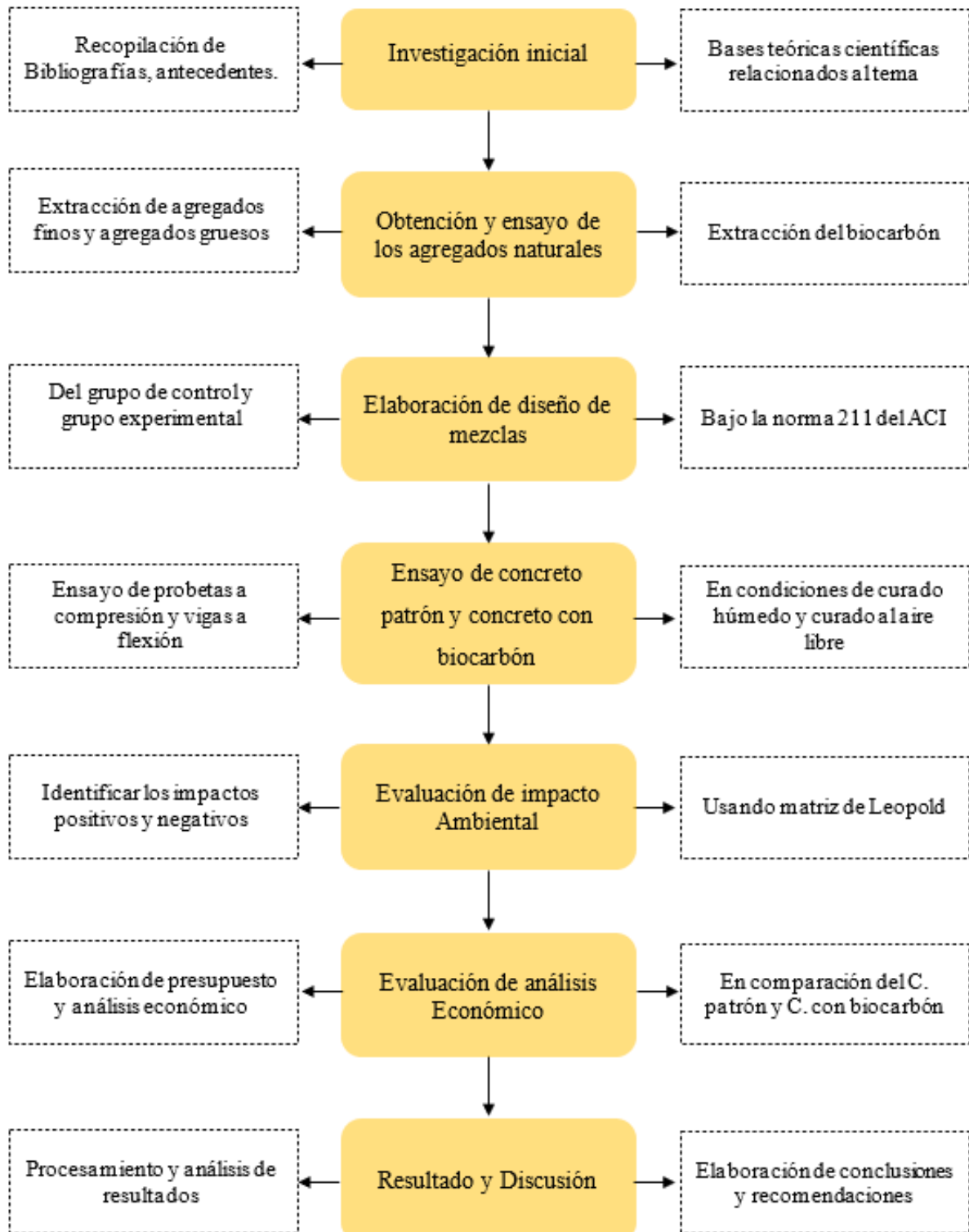


*Figura 65: Tesista realizando las medidas de las fisuras.*

Fuente: Propia

## Plan de procesamiento

A continuación, se detallará el procesamiento de datos para demostrar la hipótesis:



## Matriz de consistencia

Tabla 26: Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES, INSTRUMENTOS E INDICES	METODOLOGÍA		
¿Cómo se ven afectadas las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera?	Objetivo general:	Las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> pueden mejorar al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera en distintas dosificaciones (1%, 2% y 2.5% del peso del cemento).	INDEPENDIENTE	Biocarbón de restos de madera		Temperatura y tiempo de calcinación	Tiempo (minutos) y grado (C°) de calcinación	Tipo de investigación:	
	Determinar las propiedades físico – mecánicas del concreto $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> al reemplazar parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% en la ciudad de Chiclayo.					Proporciones de Biocarbón de restos de madera	Componentes químicos	Fluorescencia de rayos X (Dispositivo EDX-800HS, %)	Experimental - Aplicada
							Diseño de mezclas	Cantidad de materiales	1.0 % del peso del cemento: Balanza (peso)
			2.0 % del peso del cemento: Balanza (peso)	Grupo experimental y grupo de control					
	Objetivos específicos: Identificar los componentes químicos del biocarbón mediante un análisis químico (difracción de rayos x); elaborar el diseño de mezcla para la probeta patrón y para las probetas experimentales al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbón con respecto al peso del cemento; evaluar las propiedades del concreto $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> en estado fresco al reemplazar el 1%, 2% y 2.5% de biocarbón con respecto al peso del cemento; determinar la resistencia a compresión y resistencia a la flexión del concreto $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbón con respecto al peso del cemento a los 7 días, 14 días, 28 días y 56 días; comparar la resistencia a compresión y resistencia a la flexión del concreto $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> al sustituir el 1%, 2% y 2.5% de biocarbón con respecto al peso del cemento sometido a condiciones de curado húmedo y curado al aire libre; realizar una evaluación económica al sustituir biocarbón de restos de madera en dosificaciones del 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento contra un concreto convencional (concreto patrón) y realizar una evaluación de impacto ambiental.		Comportamiento del concreto	DEPENDIENTE	Ensayos del concreto: Estado fresco	Cemento: Balanza (kg)	R G <sub>1</sub> → B <sub>1</sub> → X <sub>1</sub>		
						Agregado fino: Balanza (kg)	R G <sub>2</sub> → B <sub>2</sub> → X <sub>2</sub>		
						Agregado grueso: Balanza (kg)	R G <sub>3</sub> → B <sub>3</sub> → X <sub>3</sub>		
						Agua: Probeta (ml)	R G <sub>4</sub> → - → X <sub>4</sub>		
			Ensayos del concreto: Estado endurecido	Evaluación de impacto ambiental	Contaminación	Suelo, Aire y Agua: Evaluación de impacto ambiental - Matriz de Leopold (Nivel de Impacto)	Asentamiento (Slump): Según NTP 339.035 (in)	B1: Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 1% del peso del cemento. B2: Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 2% del peso del cemento. B3: Dosificación de Biocarbón de restos de madera al 2.5% del peso del cemento.	
							Exudación: Según NTP 339.077 (%)		
							Peso Unitario de la mezcla: Según NTP 339.046 (kg/m <sup>3</sup> )		
			Costo de producción del concreto	MATERIALES	Materiales	Características	Tiempo de fraguado: Según NTP 339.082 (hr)	Población y muestra:	
							Resistencia a la compresión: Según NTP 339.034 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
							Resistencia a la flexión: Según NTP 339.078 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
							Modulo de elasticidad (ASTMC-469)	Muestreo: Se realizaron 4 ensayos de tiempo de fraguado, 4 de slump, 72 de resistencia a la compresión, 12 de módulo de elasticidad, 48 de resistencia a la flexión y 8 de fisuración.	
Fisuración: Norma ASTM C 1579 (mm)									
Gramímetría de los agregados: Según NTP 400.012 (%)									
Peso unitario de los agregados (suelto y compacto): Según NTP 400.017 (kg/m <sup>3</sup> )									
Contenido de humedad de los agregados: Según NTP 339.185 (%)									
Peso específico y capacidad de absorción de los agregados: Según NTP 400.021 y NTP 400.022 (%)									
Módulo de fineza del agregado fino: Según NTP 400.018									
Tipo de cemento: Según NTP 334.082 y NTP 334.090 (Tipo I)									

Fuente: Creación propia

**Consideraciones éticas**

Todo el proyecto de investigación se ha llevado a cabo siguiendo los principios de autenticidad, honestidad y originalidad. Todos los ensayos realizados en este trabajo han sido llevados a cabo en laboratorios certificados y autorizados, asegurando que no se ha modificado ni alterado ningún dato. Además, se ha verificado que cada ensayo cumple con la normativa vigente aplicable. Para iniciar con este proyecto se solicitaron los permisos correspondientes a la Municipalidad Magdalena del Mar, la cual está encargada de la producción del Biocarbón de restos de madera.

## Resultados

En los siguientes apartados se mostrarán los resultados de los ensayos físicos, es decir, de los agregados finos y agregados gruesos, perteneciente de La Victoria – Pátapo y la cantera Tres Tomas – Ferreñafe respectivamente. Así mismo se presentarán los ensayos físicos y mecánicos del concreto en su estado fresco y estado endurecido; cada ensayo propuesto se realizará al concreto patrón y a los concretos experimentales.

### Resultados de los ensayos del agregado fino

#### Granulometría por tamizado

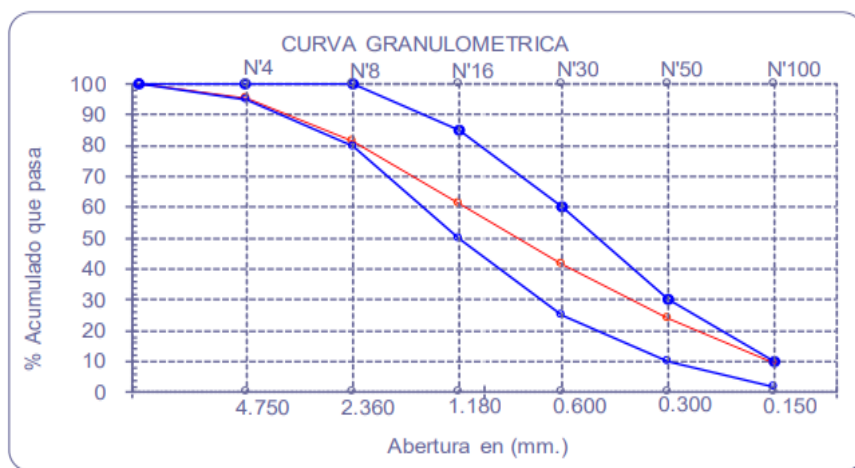
Tabla 27: Caracterización de la distribución de tamaños del A. fino

Malla		(%) Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					
1/2"	12.700	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	4.6	4.6	95.4	95	100
Nº 08	2.360	14.2	18.8	81.2	80	100
Nº 16	1.180	20.1	38.9	61.1	50	85
Nº 30	0.600	19.4	58.3	41.7	25	60
Nº 50	0.300	17.7	76.0	24.0	10	30
Nº 100	0.150	14.5	90.5	9.5	2	10
Fondo		9.5	100.0	0.0		
Módulo de Fineza			2.871			
Abertura de malla de referencia			9.500			

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Los datos presentados en la tabla anterior corresponden a los resultados del ensayo granulométrico del A. fino proveniente de la Cantera La Victoria - Pátapo. De acuerdo con estos resultados, se observa que ningún par consecutivo de mallas muestra una retención superior al 45%. Además, el valor del módulo de fineza, que es de 2.871, se encuentra dentro del rango aceptable establecido entre 2.3 y 3.1 según la N.T.P. 400.037.

Gráfico 1: Caracterización de la distribución de tamaños del A. fino



Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El diagrama de la curva de distribución de tamaños del análisis granulométrico del agregado fino proveniente de la cantera La Victoria-Pátapo cumple con los criterios granulométricos establecidos en la norma N.T.P. 400.037.

### Peso unitario suelto y compactado

Tabla 28: Peso unitario suelto del A. Fino

PESO UNITARIO SUELTO		
Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g	19205.5
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	8476.5
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1557
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1527

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El peso unitario suelto húmedo que se realizó a la arena procedente de la cantera La victoria – Pátapo arrojó como resultado 1557 kg/m<sup>3</sup> y el peso unitario suelto seco es de 1527 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 29: Peso unitario compactado del A. Fino

PESO UNITARIO COMPACTADO		
Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g	20453
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	9724
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1786
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1752

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El peso unitario compactado húmedo que se realizó a la arena procedente de la cantera La victoria – Pátapo arrojó como resultado 1786 kg/m<sup>3</sup> y el peso unitario compactado seco es de 1752 kg/m<sup>3</sup>.

### Contenido de humedad

Tabla 30: Nivel de humedad del A. fino

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g	586.2
Peso muestra seca + peso de tara	g	576.6
Peso de agua	g	9.6
Peso de tara	g	86.2
Peso neto muestra seca	g	490.4
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.96

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Los datos obtenidos del ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo revelaron un porcentaje de 1.96%.

## Peso específico y absorción

Tabla 31: Peso específico y absorción del A. Fino

A.- Datos de la arena		
1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	g	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	1026.2
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	g	712.0
4.- Peso del Agua.	g	314.2
5.- Peso del Frasco	g	212.0
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	g	707.5
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	g	495.5
8.- Volumen del frasco.	cm <sup>3</sup>	500.0
B.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	g/cm <sup>3</sup>	2.667
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm <sup>3</sup>	2.691
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	2.733
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	0.91

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El resultado del A. fino procedente de la cantera La Victoria – Pátapo nos arrojó como peso específico 2.691 g/cm<sup>3</sup> y como porcentaje de absorción 0.91%.

## Resultados de los ensayos del agregado grueso

Los datos que se muestran a continuación son el resultado obtenido del ensayo al agregado grueso.

## Granulometría por tamizado

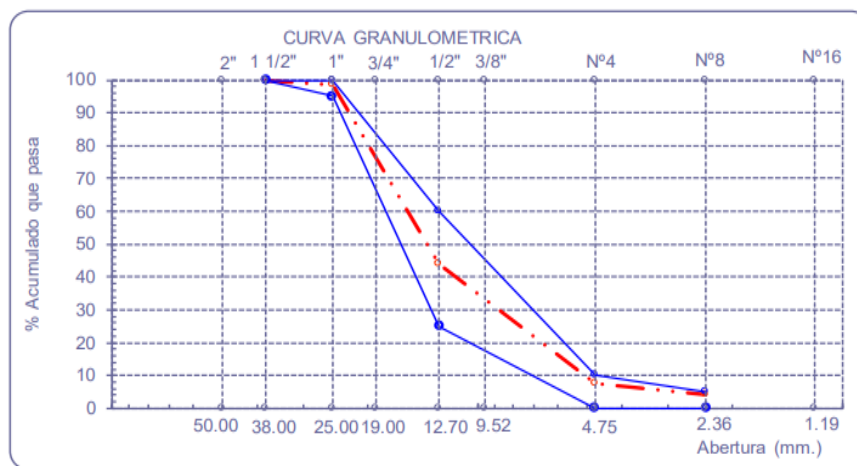
Tabla 32: Caracterización de la distribución de tamaños del A. grueso

Malla		(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					
2"	50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	1.5	1.5	98.5	95.0	100.0
3/4"	19.00	14.6	16.0	84.0		
1/2"	12.70	40.0	56.0	44.0	25.0	60.0
3/8"	9.52	14.0	70.0	30.0		
Nº 04	4.75	22.4	92.4	7.6	0.0	10.0
Nº 08	2.36	3.6	96.0	4.0	0.0	5.0
Nº 16	1.19	2.1	98.2	1.8		
Fondo		1.8	97.9	2.1		
Tamaño Máximo		1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	19.00			

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Los datos de la tabla anterior son los resultados que se obtuvieron del ensayo granulométrico del agregado grueso procedente de la Cantera Tres Tomas – Ferreñafe, además, se observa que cumple con los límites permisibles en la curva granulométrica siguiente.

Gráfico 2: Caracterización de la distribución de tamaños del A. grueso



Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

### Peso unitario suelto y compactado

Tabla 33: Peso unitario suelto del A. Grueso

PESO UNITARIO SUELTO		
Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g	18161.5
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	7432.5
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1365
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1360

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El peso unitario suelto húmedo que se realizó a la grava procedente de la cantera Tres tomas – Ferreñafe arrojo como resultado 1365 kg/m<sup>3</sup> y el peso unitario suelto seco es de 1360 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 34: Peso unitario compactado del A. Grueso

PESO UNITARIO COMPACTADO		
Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g	19338.0
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	8609.0
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1581
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1576

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

El peso unitario compactado húmedo que se realizó a la grava procedente de la cantera Tres tomas – Ferreñafe arrojó como resultado  $1581 \text{ kg/m}^3$  y el peso unitario compactado seco es de  $1576 \text{ kg/m}^3$ .

### Contenido de humedad

Tabla 35: Contenido de humedad del A. Grueso

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g	1025.8
Peso muestra seca + peso de tara	g	1022.5
Peso de agua	g	3.3
Peso de tara	g	98.2
Peso neto muestra seca	g	924.3
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>0.36</b>

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Los datos calculados del ensayo de % de humedad de la grava procedente de la cantera Tres tomas – Ferreñafe nos arrojó como resultado 0.36%.

### Peso específico y absorción

Tabla 36: Peso específico y absorción del A. Grueso

A.- Datos de la Grava		
1.- Peso de la muestra seca al horno	g	1484
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	1500
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	g	1665
4.- Peso de la canastilla	g	731
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	g	934
B.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	$\text{g/cm}^3$	2.622
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	$\text{g/cm}^3$	2.650
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	$\text{g/cm}^3$	2.698
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	1.08

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Tras los ensayos realizados al agregado grueso procedente de la cantera Tres tomas – Ferreñafe nos arrojó como peso específico  $2.650 \text{ g/cm}^3$  y como porcentaje de absorción 1.08%.

## Resultados de los ensayos del concreto en estado fresco

### Resultados del ensayo de asentamiento (slump)

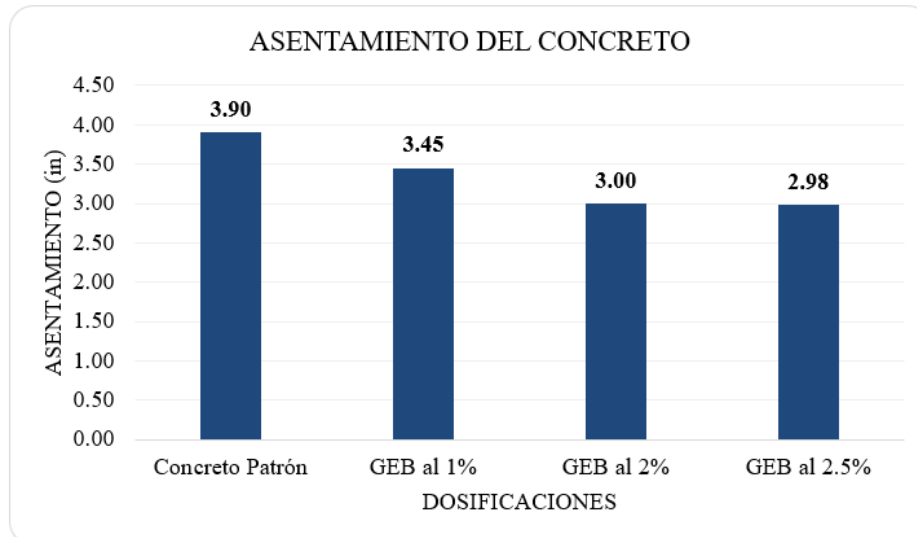
Tabla 37: Medición de slump del concreto de referencia y del concreto con biocarbón

DOSIFICACIÓN	ASENTAMIENTO (IN)
CONCRETO PATRÓN	3.90
GEB AL 1%	3.45
GEB AL 2%	3.00
GEB AL 2.5%	2.98

Fuente: Creación Propia

El ensayo de asentamiento se llevó a cabo tanto en el concreto patrón como en los Grupos Experimentales con Biocarbón (GEB), utilizando dosificaciones del 1%, 2% y 2.5%. Se pudo observar una relación directa entre la cantidad de biocarbón y el acortamiento del asentamiento, ya que a medida que aumentaba el porcentaje de biocarbón en reemplazo del cemento, se producía una reducción más significativa en el valor del asentamiento.

Gráfico 3: Medición de slump del concreto de referencia y del concreto con biocarbón



Fuente: Creación Propia

Según el gráfico la dosificación más elevada de biocarbón fue del 2.5%, donde, este obtuvo un asentamiento de 2.98''; al comparar con el asentamiento del concreto patrón se redujo en 0.92'' obteniendo el 24% de reducción.

## Resultados del peso Unitario del concreto

El peso del molde fue de 0.4025 Kg y su volumen de 0.005301 m<sup>3</sup>

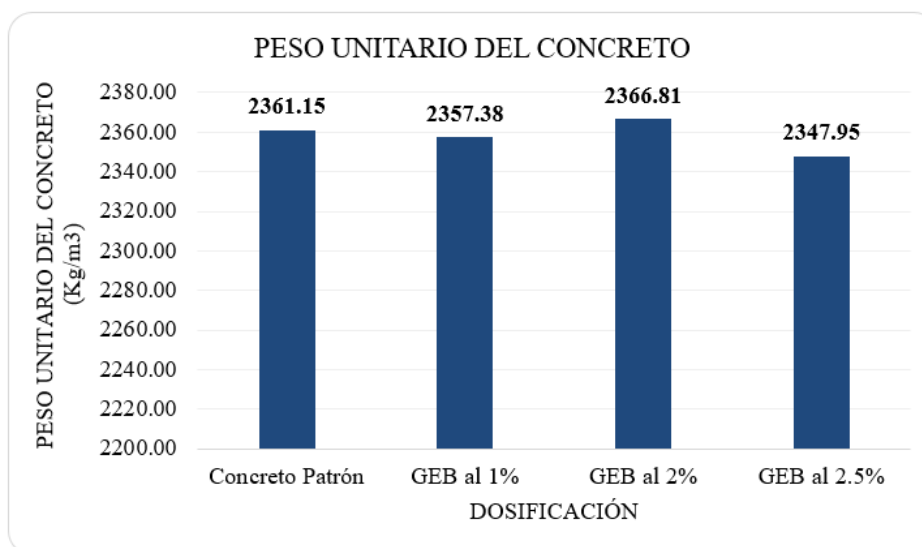
Tabla 38: Peso unitario del concreto patrón y concreto con biocarbón

DOSIFICACIÓN	PESO DEL CONCRETO + PESO DEL MOLDE (Kg)	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (Kg/m <sup>3</sup> )
Concreto Patrón	12.92	2361.15
GEB al 1%	12.90	2357.38
GEB al 2%	12.95	2366.81
GEB al 2.5%	12.85	2347.95

Fuente: Creación Propia

Los datos de la prueba del peso unitario fueron casi similares, no obstante, se observó que la dosificación del GEB al 2% (Grupo Experimental con Biocarbón) tuvo un peso unitario ligeramente mayor, específicamente de 2366.81 kg/m<sup>3</sup>, con una pequeña diferencia respecto al concreto patrón que registró 2361.15 kg/m<sup>3</sup>. En cuanto a, la dosificación con el valor más bajo de peso unitario fue la del GEB al 2.5%, con 2347.95 kg/m<sup>3</sup>.

Gráfico 4: Peso unitario del concreto patrón y concreto con biocarbón



Fuente: Creación Propia

## Resultados del ensayo de exudación

Agua neta de la mezcla dentro de la muestra del ensayo: 1131.7635 ml

Área expuesta del concreto: 176.71 cm<sup>2</sup>

Concreto Patrón:

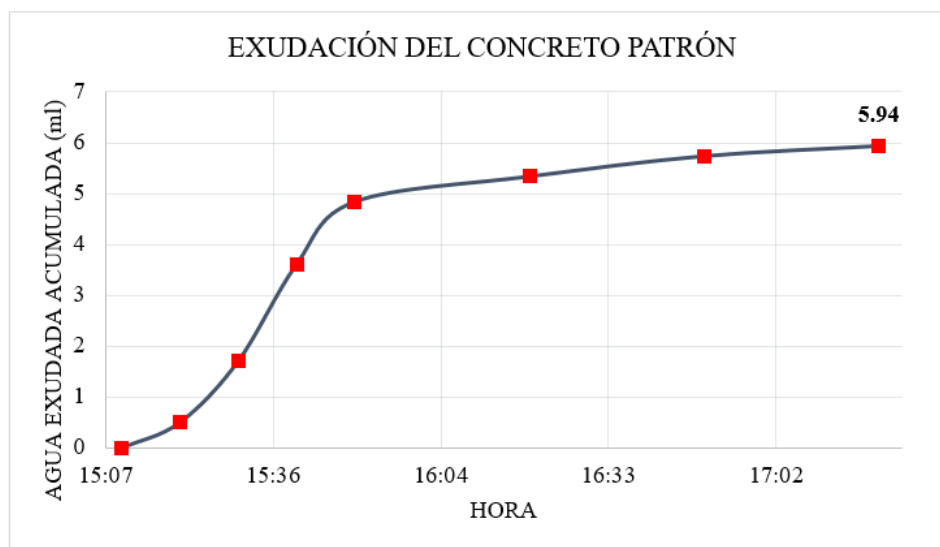
Tabla 39: Prueba de exudación del concreto patrón

HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
15:10	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
15:20	0.5	0.5	0.04%	0.04%	0.0028
15:30	1.2	1.7	0.11%	0.15%	0.0068
15:40	1.9	3.6	0.17%	0.32%	0.0108
15:50	1.24	4.84	0.11%	0.43%	0.0070
16:20	0.5	5.34	0.04%	0.47%	0.0028
16:50	0.4	5.74	0.04%	0.51%	0.0023
17:20	0.2	5.94	0.02%	0.52%	0.0011

Fuente: Creación propia

La muestra patrón tuvo una duración de 02:20 horas aproximadamente, dando como resultado una exudación acumulada de 5.94 ml del concreto patrón.

Gráfico 5: Prueba de exudación del concreto patrón



Fuente: Creación propia

Grupo Experimental de Biocarbón (GEB) al 1%:

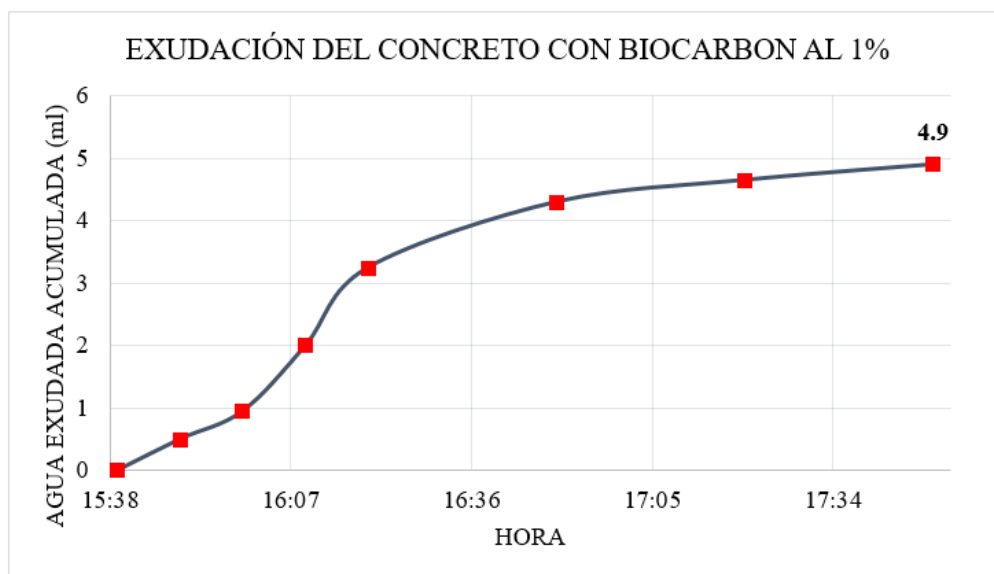
Tabla 40: Prueba de exudación del GEB al 1%

HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
15:40	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
15:50	0.5	0.5	0.04%	0.04%	0.0028
16:00	0.45	0.95	0.04%	0.08%	0.0025
16:10	1.05	2	0.09%	0.18%	0.0059
16:20	1.25	3.25	0.11%	0.29%	0.0071
16:50	1.05	4.3	0.09%	0.38%	0.0059
17:20	0.35	4.65	0.03%	0.41%	0.0020
17:50	0.25	4.9	0.02%	0.43%	0.0014

Fuente: Creación propia

El ensayo de exudación del Grupo Experimental con Biocarbon (GEB) al 1% tuvo una duración de 02:20 horas aproximadamente, dando como resultado una exudación acumulada de 4.90 ml.

Gráfico 6: Prueba de exudación del GEB al 1%



Fuente: Creación propia

Grupo Experimental de Biocarbón (GEB) al 2%:

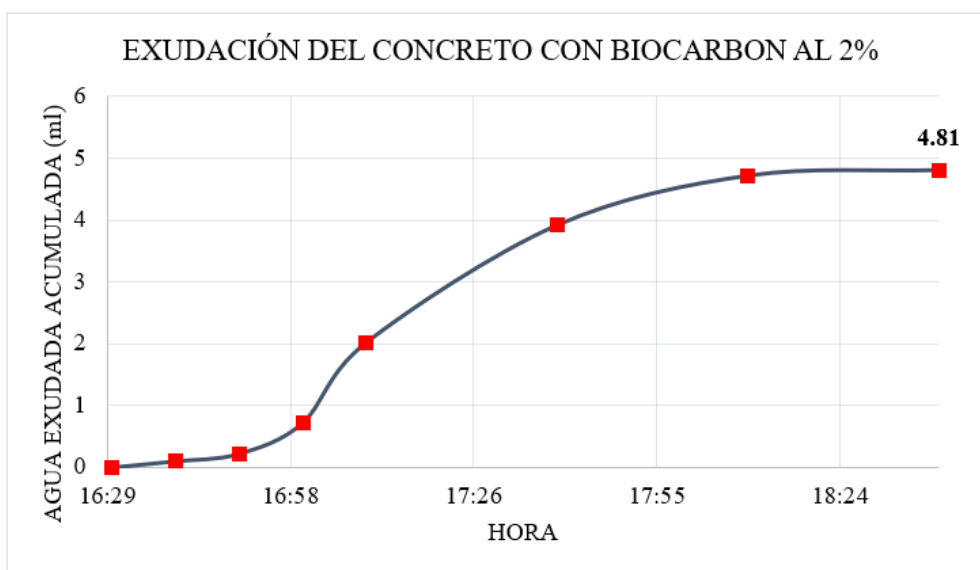
Tabla 41: Prueba de exudación del GEB al 2%

HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
16:30	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
16:40	0.1	0.1	0.01%	0.01%	0.0006
16:50	0.12	0.22	0.01%	0.02%	0.0007
17:00	0.5	0.72	0.04%	0.06%	0.0028
17:10	1.3	2.02	0.11%	0.18%	0.0074
17:40	1.9	3.92	0.17%	0.35%	0.0108
18:10	0.8	4.72	0.07%	0.42%	0.0045
18:40	0.09	4.81	0.01%	0.43%	0.0005

Fuente: Creación propia

El ensayo de exudación del Grupo Experimental con Biocarbon (GEB) al 2% tuvo una duración de 02:20 horas aproximadamente, dando como resultado una exudación acumulada de 4.81 ml.

Gráfico 7: Prueba de exudación del GEB al 2%



Fuente: Creación propia

Grupo Experimental de Biocarbón (GEB) al 2.5%:

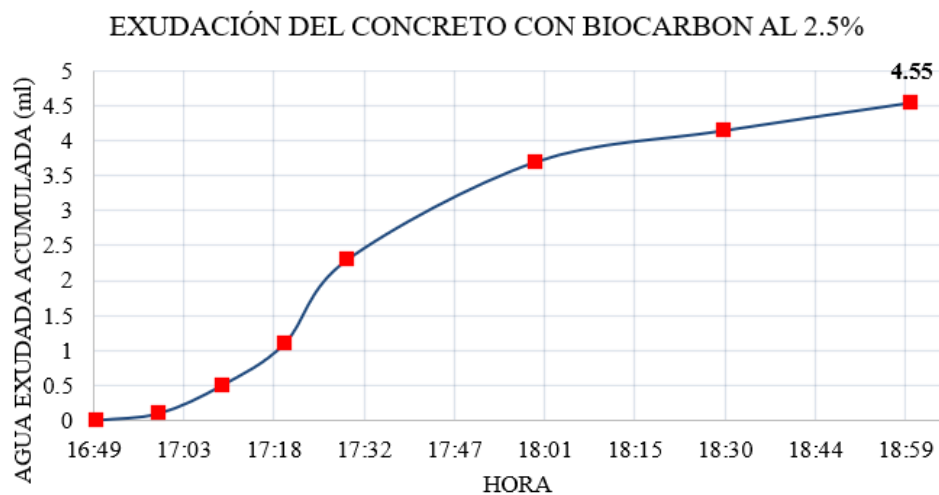
Tabla 42: Prueba de exudación del GEB al 2.5%

HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
16:50	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
17:00	0.1	0.1	0.01%	0.01%	0.0006
17:10	0.4	0.5	0.04%	0.04%	0.0023
17:20	0.6	1.1	0.05%	0.10%	0.0034
17:30	1.2	2.3	0.11%	0.20%	0.0068
18:00	1.4	3.7	0.12%	0.33%	0.0079
18:30	0.45	4.15	0.04%	0.37%	0.0025
19:00	0.4	4.55	0.04%	0.40%	0.0023

Fuente: Creación propia

El ensayo de exudación del Grupo Experimental con Biocarbon (GEB) al 2.5% tuvo una duración de 02:20 horas aproximadamente, dando como resultado una exudación acumulada de 4.55 ml.

Gráfico 8: Prueba de exudación del GEB al 2.5%



Fuente: Creación propia

El resumen del resultado de la prueba de exudación de la muestra patrón y la muestra con dosificaciones de Biocarbón es la siguiente:

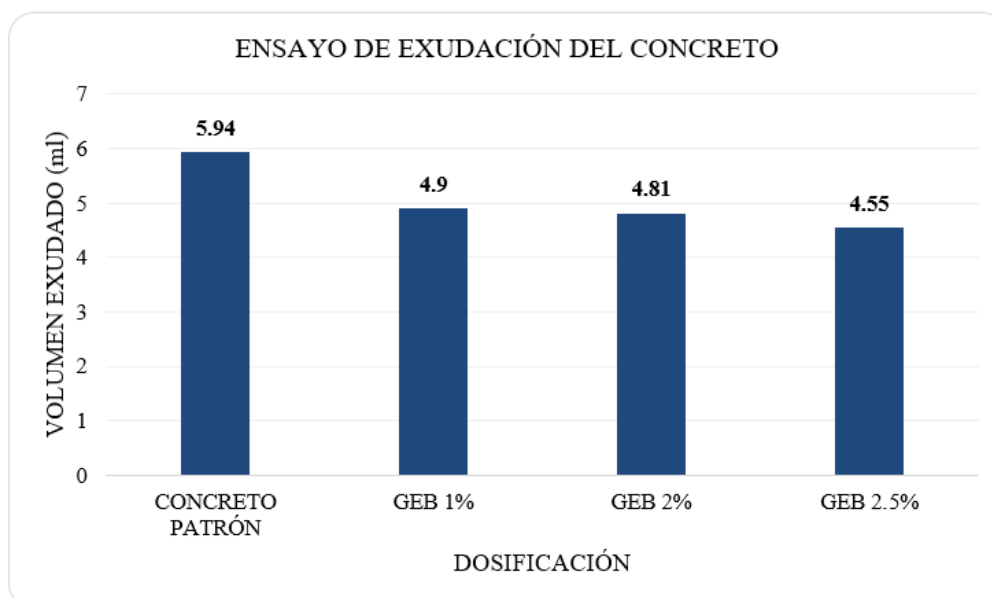
*Tabla 43: Resumen del ensayo de exudación de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón*

IDENTIFICACIÓN	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)
CONCRETO PATRÓN	5.94	0.52%
GEB 1%	4.9	0.43%
GEB 2%	4.81	0.43%
GEB 2.5%	4.55	0.40%

*Fuente: Creación propia*

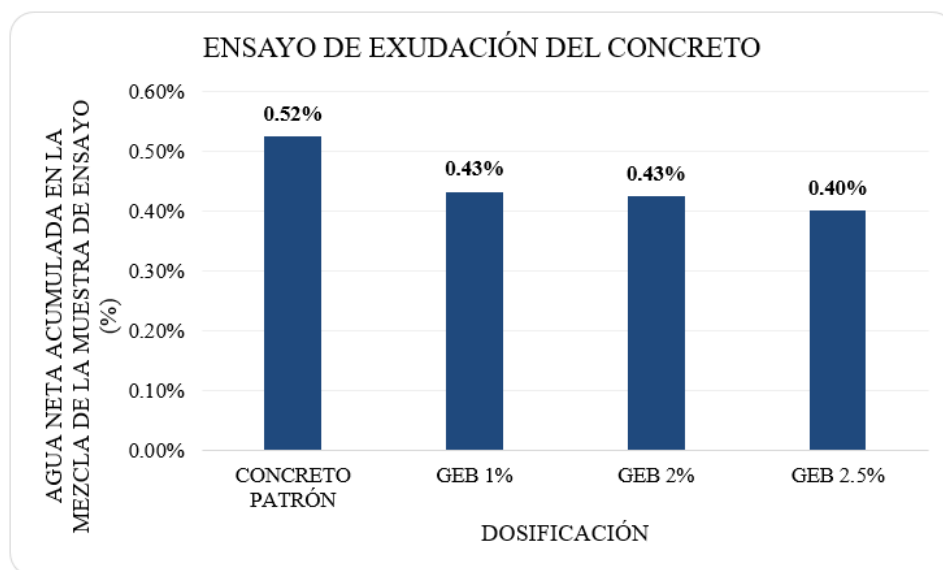
Del ensayo de exudación que se realizó a la mezcla de control y a la mezcla que contenía distintos porcentajes de biocarbón, se observó que el volumen de agua que exudaba el concreto se iba reduciendo cada vez que se incrementaba el porcentaje de biocarbón, siendo el grupo experimental de biocarbón (GEB) al 2.5% la mezcla que menor agua exudo, de 4.55 ml.

*Gráfico 9: Resumen del volumen de exudación de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón*



*Fuente: Creación propia*

Gráfico 10: Resumen del porcentaje de agua neta acumulada de la mezcla patrón y la mezcla con biocarbón



Fuente: Creación propia

La cantidad de agua absorbida en la mezcla de ensayo para las diferentes dosificaciones no fue alta, debido a la fineza del cemento utilizado en este estudio y a las características porosas del biocarbón.

## Resultados del ensayo de tiempo de fraguado

### Identificación: Concreto patrón

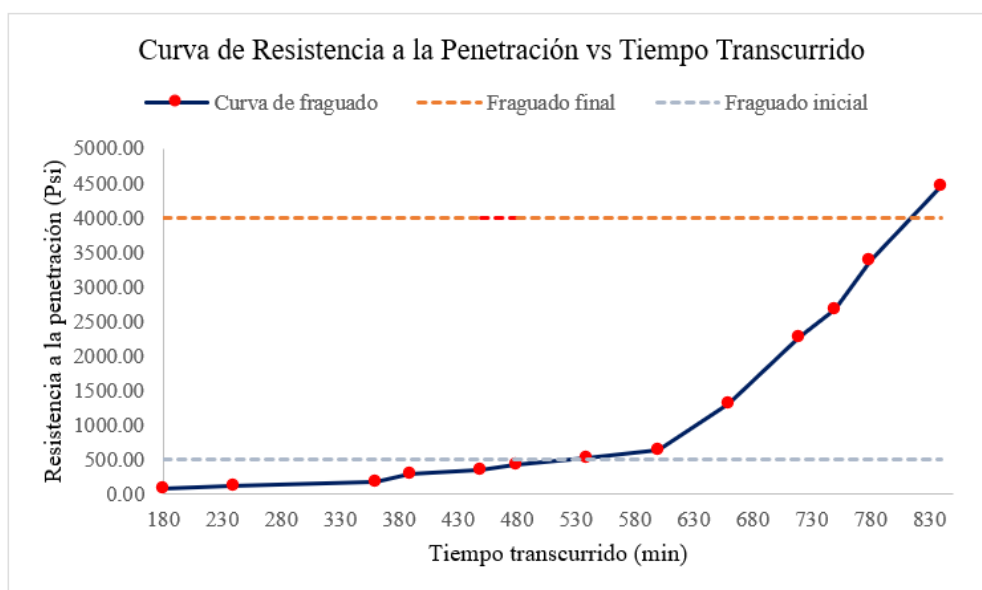
Inicio de ensayo: 09:00 a.m.

Tabla 44: Tiempo de fraguado del concreto patrón

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
12:00	03:00	180	645	1	38	84	83.80
13:00	04:00	240	645	1	54	119	119.08
15:00	06:00	360	645	1	80	176	176.41
15:30	06:30	390	323	1/2	64	141	281.82
16:30	07:30	450	161	1/4	40	88	353.37
17:00	08:00	480	161	1/4	48	106	424.05
18:00	09:00	540	161	1/4	58	128	512.39
19:00	10:00	600	161	1/4	72	159	636.07
20:00	11:00	660	65	1/10	60	132	1312.92
21:00	12:00	720	32	1/20	51	112	2266.84
21:30	12:30	750	32	1/20	60	132	2666.87
22:00	13:00	780	16	1/40	38	84	3378.04
23:00	14:00	840	16	1/40	50	110	4444.79

Fuente: Creación Propia

Gráfico 11: Tiempo de fraguado del concreto patrón



Fuente: Creación Propia

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 08:09 Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 13:30 Horas

**Identificación: Concreto + Biocarbón 1%**

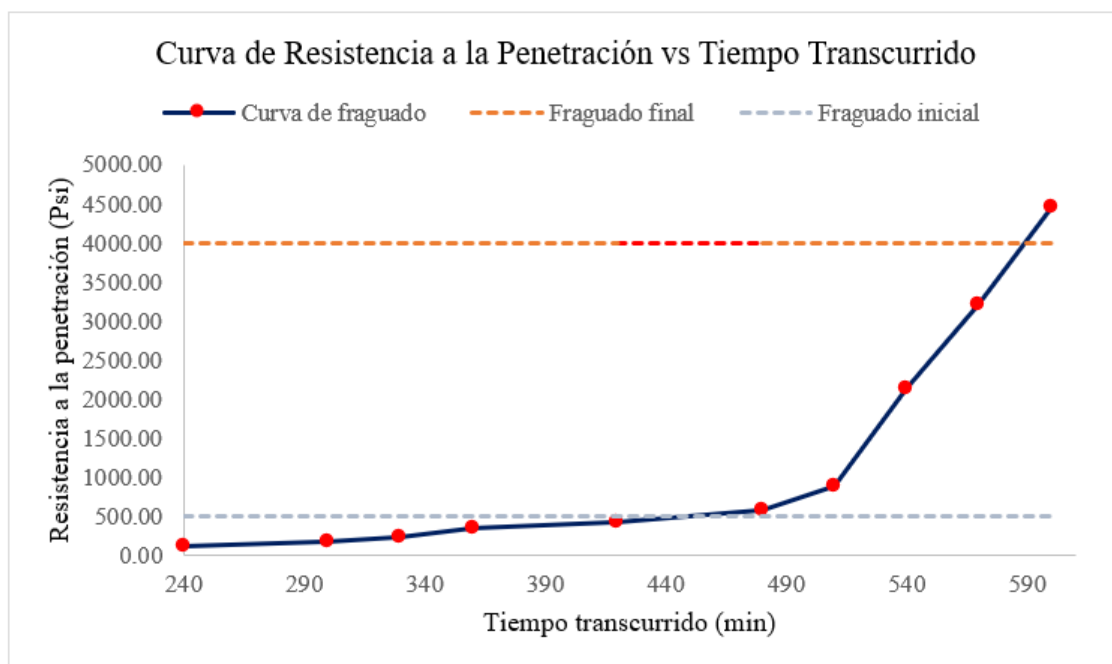
Inicio de ensayo: 10:00 a.m.

Tabla 45: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 1%

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
14:00	04:00	240	645	1	50	110	110.26
15:00	05:00	300	645	1	80	176	176.41
15:30	05:30	330	323	1/2	52	115	228.98
16:00	06:00	360	161	1/4	40	88	353.37
17:00	07:00	420	161	1/4	48	106	424.05
18:00	08:00	480	161	1/4	66	146	583.07
18:30	08:30	510	65	1/10	40	88	875.28
19:00	09:00	540	32	1/20	48	106	2133.50
19:30	09:30	570	16	1/40	36	79	3200.25
20:00	10:00	600	16	1/40	50	110	4444.79

Fuente: Creación Propia

Gráfico 12: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 1%



Fuente: Creación propia

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 07:22 Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 09:45 Horas

### Identificación: Concreto + Biocarbón 2%

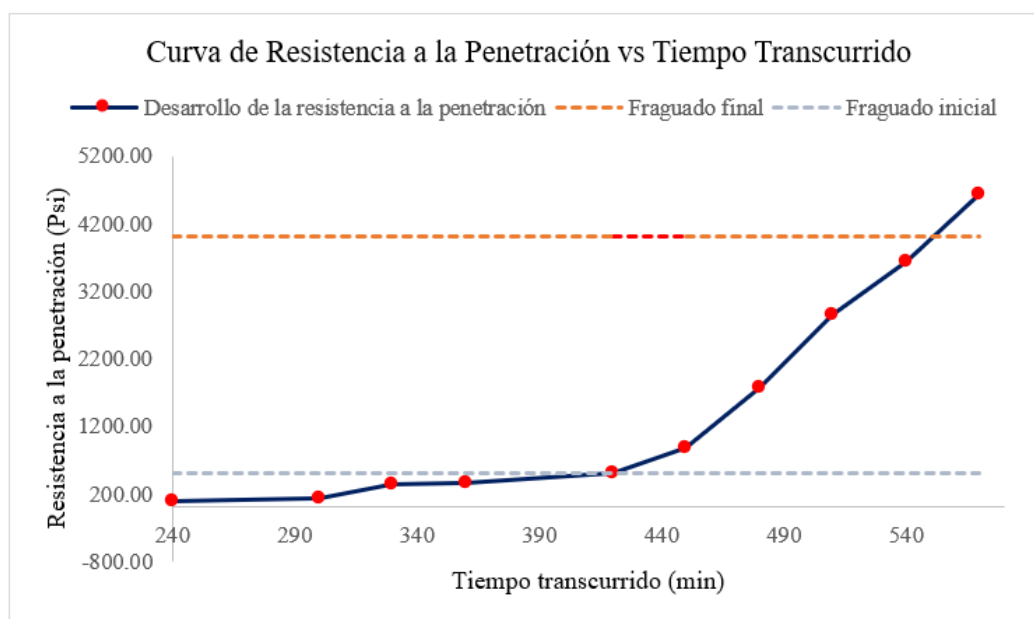
Inicio de ensayo: 11:00 a.m.

Tabla 46: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2%

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
15:00	04:00	240	645	1	40	88	88.21
16:00	05:00	300	645	1	58	128	127.90
16:30	05:30	330	323	1/2	78	172	343.47
17:00	06:00	360	161	1/4	40	88	353.37
18:00	07:00	420	161	1/4	58	128	512.39
18:30	07:30	450	65	1/10	40	88	875.28
19:00	08:00	480	32	1/20	40	88	1777.92
19:30	08:30	510	16	1/40	32	71	2844.67
20:00	09:00	540	16	1/40	41	90	3644.73
20:30	09:30	570	16	1/40	52	115	4622.58

Fuente: Creación Propia

Gráfico 13: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2%



Fuente: Creación Propia

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 06:50 Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 09:20 Horas

#### Identificación: Concreto + Biocarbón 2.5%

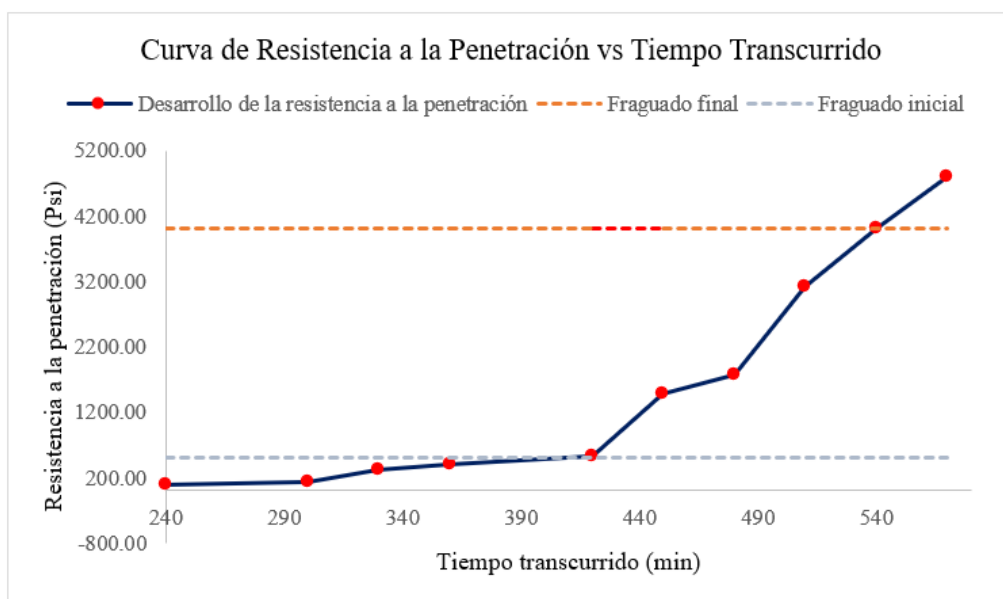
Inicio de ensayo: 01:00 p.m.

Tabla 47: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2.5%

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:00	04:00	240	645	1	38	84	83.80
18:00	05:00	300	645	1	55	121	121.28
18:30	05:30	330	323	1/2	70	154	308.25
19:00	06:00	360	161	1/4	45	99	397.55
20:00	07:00	420	161	1/4	60	132	530.06
20:30	07:30	450	65	1/10	68	150	1487.98
21:00	08:00	480	32	1/20	40	88	1777.92
21:30	08:30	510	16	1/40	35	77	3111.35
22:00	09:00	540	16	1/40	45	99	4000.31
22:30	09:30	570	16	1/40	54	119	4800.37

Fuente: Creación propia

Gráfico 14: Tiempo de fraguado del concreto con biocarbón al 2.5%



Fuente: Creación Propia

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 06:40 Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 09:00 Horas

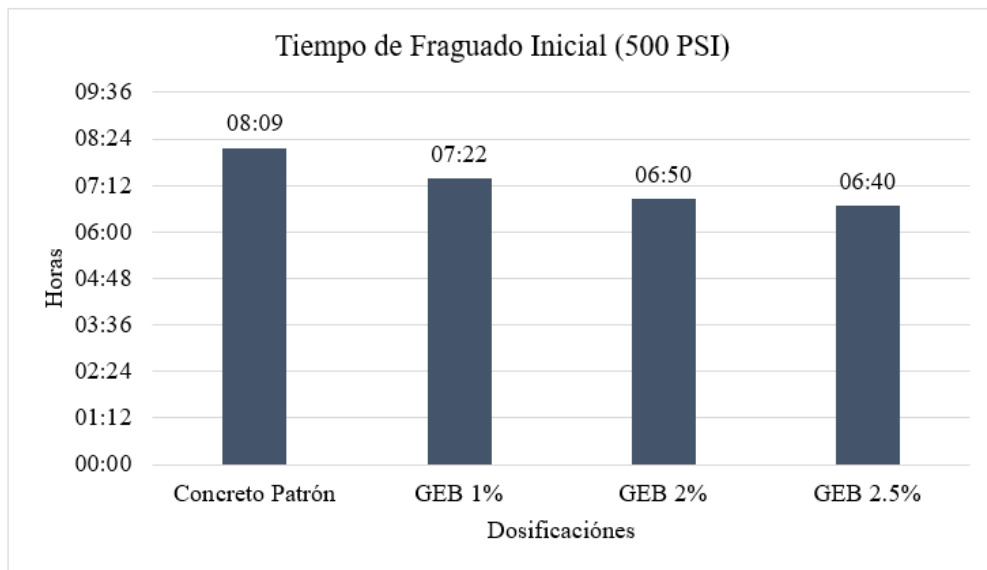
Resumen del tiempo de fraguado inicial y final:

Tabla 48: Tiempo de fraguado (resumen)

	Concreto Patrón	GEB 1%	GEB 2%	GEB 2.5%	
<b>Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI:</b>	08:09	07:22	06:50	06:40	Horas
<b>Tiempo Fraguado Final 4000 PSI:</b>	13:30	09:45	09:20	09:00	Horas

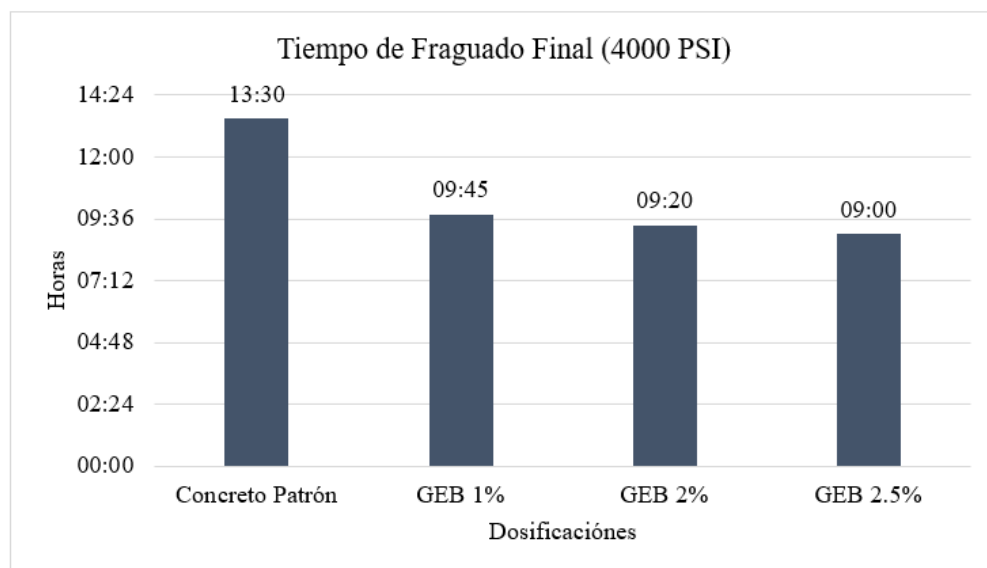
Fuente: Creación Propia

*Gráfico 15: Tiempo de fraguado Inicial*



*Fuente: Creación Propia*

*Gráfico 16: Tiempo de fraguado final*



*Fuente: Creación Propia*

## Resultados de los ensayos del concreto en estado endurecido

### Resultados del ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto

Tabla 49: Ensayos a compresión de probetas cilíndricas

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
<b>CURADO HUMEDO</b>								
CONCRETO PATRON	27/10/22	03/11/22	7	15	26690	151		
CONCRETO PATRON	27/10/22	03/11/22	7	15	27750	157	151.03	71.92
CONCRETO PATRON	27/10/22	03/11/22	7	15	25630	145		
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	33160	188		
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	31140	176	185.61	88.39
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	34100	193		
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	37610	213		
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	37930	215	213.53	101.68
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	37660	213		
CONCRETO PATRON	27/10/22	22/12/22	56	15	46770	265		
CONCRETO PATRON	27/10/22	22/12/22	56	15	42670	241	245.16	116.74
CONCRETO PATRON	27/10/22	22/12/22	56	15	40530	229		
<b>CURADO AL AIRE LIBRE</b>								
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	29330	166		
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	25650	145	153.00	72.86
CONCRETO PATRON	27/10/22	10/11/22	14	15	26130	148		
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	30770	174		
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	32150	182	180.97	86.18
CONCRETO PATRON	27/10/22	24/11/22	28	15	33020	187		
<b>CURADO HUMEDO</b>								
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	30240	171		
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	29180	165	167.24	79.64
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	29240	165		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	35560	201		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	33160	188	193.61	92.19
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	33920	192		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	40280	228		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	39650	224	230.69	109.85
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	42370	240		
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15	49730	281		
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15	47560	269	273.98	130.47
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15	47960	271		
<b>CURADO AL AIRE LIBRE</b>								
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	28880	163		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	29320	166	164.82	78.49
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	29180	165		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	33130	187	191.12	91.01

GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	34100	193		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	34090	193		
<b>CURADO HUMEDO</b>								
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	33210	188		
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	26690	151	164.14	78.16
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	27120	153		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34380	195		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34600	196	195.34	93.02
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34580	196		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	41790	236		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	43610	247	248.97	118.56
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	46590	264		
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50050	283		
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50310	285	283.85	135.17
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50120	284		
<b>CURADO AL AIRE LIBRE</b>								
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	26320	149		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	25520	144	146.71	69.86
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	25940	147		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	34000	192		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	30240	171	179.31	85.39
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	30820	174		
<b>CURADO HUMEDO</b>								
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	26110	148		
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	22360	127	139.00	66.19
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	25220	143		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27630	156		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27670	157	156.73	74.63
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27790	157		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	36750	208		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	35570	201	202.47	96.42
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	35020	198		
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	41010	232		
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	40800	231	231.56	110.27
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	40950	232		
<b>CURADO AL AIRE LIBRE</b>								
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	24710	140		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	23140	131	136.83	65.16
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	24690	140		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	24900	141		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	27070	153	145.47	69.27
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	25150	142		

*Fuente: Creación Propia*

Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 7 días:

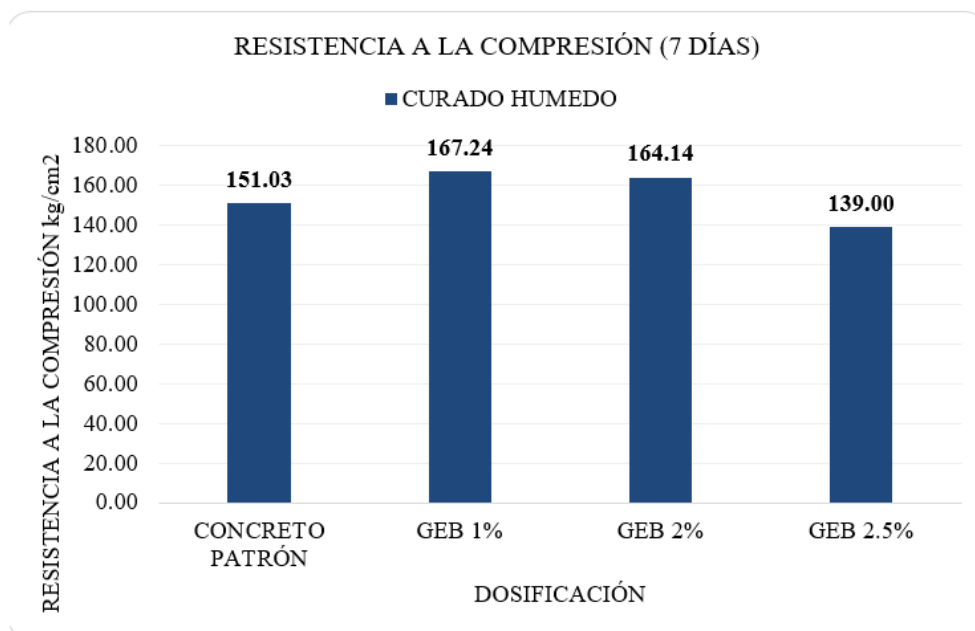
*Tabla 50: Prueba a compresión a los 7 días*

METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	151.03	71.92
HUMEDO	GEB 1%	167.24	79.64
HUMEDO	GEB 2%	164.14	78.16
HUMEDO	GEB 2.5%	139.00	66.19

*Fuente: Creación Propia*

A los 7 días, se determinó que el concreto patrón alcanzó una resistencia promedio de 151.03 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 71.92%. Por otro lado, el Grupo Experimental con biocarbón (GEB) en la dosificación del 1% logró el mejor resultado, obteniendo una resistencia de 167.24 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 79.64%. En comparación con el concreto patrón, se evidenció una mejora del 7.72% en la resistencia.

*Gráfico 17: Prueba a compresión a los 7 días*



*Fuente: Creación Propia*

Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 14 días:

Tabla 51: Prueba a compresión a los 14 días

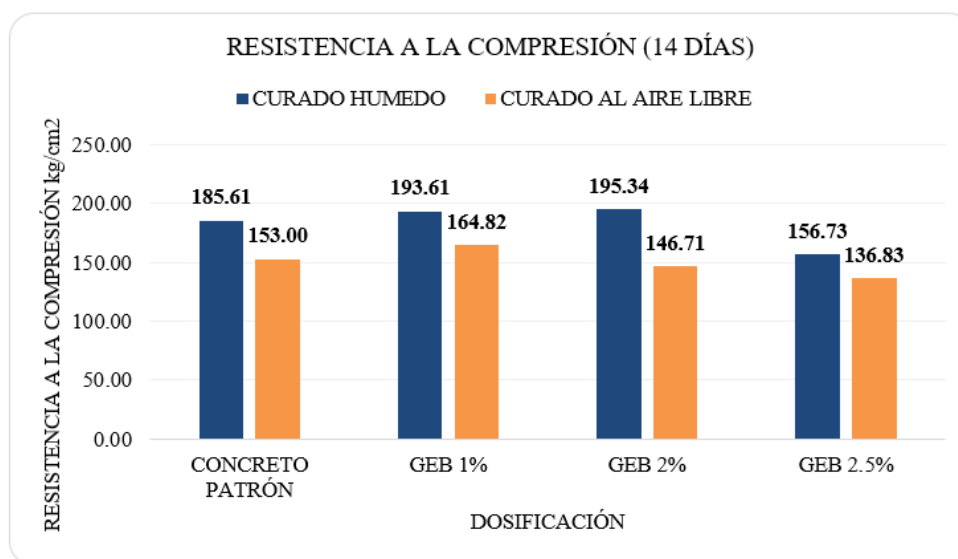
METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f <sub>c</sub> DE DISEÑO (%)
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	185.61	88.39
HUMEDO	GEB 1%	193.61	92.19
HUMEDO	GEB 2%	195.34	93.02
HUMEDO	GEB 2.5%	156.73	74.63
AIRE LIBRE	CONCRETO PATRÓN	153.00	72.86
AIRE LIBRE	GEB 1%	164.82	78.49
AIRE LIBRE	GEB 2%	146.71	69.86
AIRE LIBRE	GEB 2.5%	136.83	65.16

Fuente: Creación Propia

A los 14 días, se determinó que el concreto patrón sometido a curado húmedo alcanzó una resistencia promedio de 185.61 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 88.39%. Por otro lado, el Grupo Experimental con biocarbón (GEB) en la dosificación del 2% logró el mejor resultado, obteniendo una resistencia de 195.34 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 93.02%. En comparación con el concreto patrón, se evidenció una mejora del 4.63% en la resistencia.

Por otro lado, al evaluar la resistencia a compresión de las muestras sometidas a curado al aire libre, se obtuvo un valor de 153 kg/cm<sup>2</sup> para el grupo de control, con un porcentaje de diseño del 72.86%. En contraste, el GEB al 1% registró una resistencia de 164.82 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 78.49%. Esto representa una mejora del 5.63% respecto al concreto patrón sometido a curado al aire libre.

Gráfico 18: Prueba a compresión a los 14 días



Fuente: Creación Propia

Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 28 días:

Tabla 52: Prueba a compresión a los 28 días

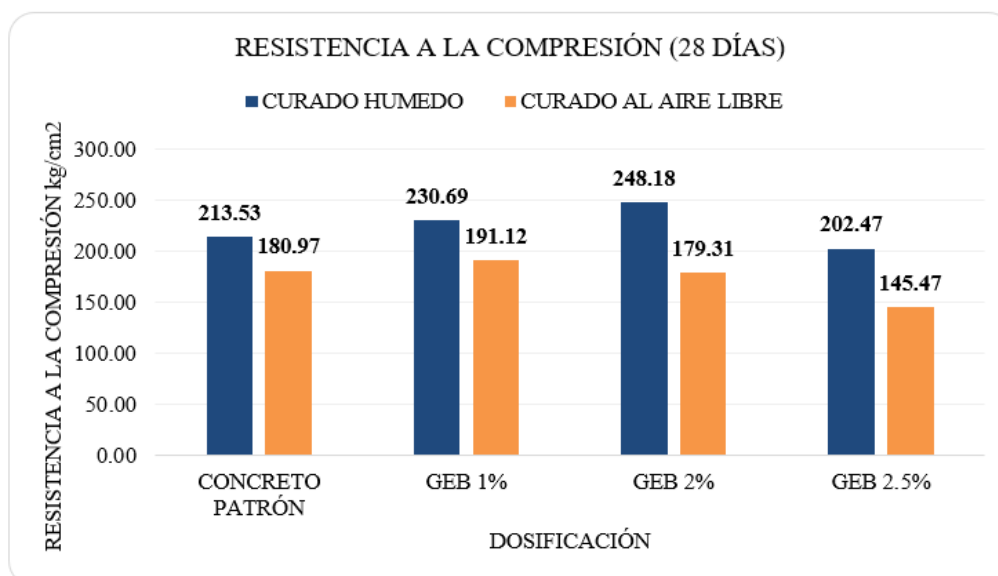
METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	213.53	101.68
HUMEDO	GEB 1%	230.69	109.85
HUMEDO	GEB 2%	248.97	118.56
HUMEDO	GEB 2.5%	202.47	96.42
AIRE LIBRE	CONCRETO PATRÓN	180.97	86.18
AIRE LIBRE	GEB 1%	191.12	91.01
AIRE LIBRE	GEB 2%	179.31	85.39
AIRE LIBRE	GEB 2.5%	145.47	69.27

Fuente: Creación Propia

A los 28 días, se determinó que el concreto patrón sometido a curado húmedo alcanzó una resistencia promedio de 213.53 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 101.68%. Por otro lado, el Grupo Experimental con Biocarbón (GEB) en la dosificación del 2% logró el mejor resultado, obteniendo una resistencia de 248.97 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 118.56%. En comparación con el concreto patrón, se evidenció una mejora del 16.88% en la resistencia.

Por otro lado, al evaluar la resistencia a compresión de las muestras sometidas a curado al aire libre, se obtuvo un valor de 180.97 kg/cm<sup>2</sup> para el grupo de control, con un porcentaje de diseño del 86.18%. En contraste, el GEB al 1% registró una resistencia de 191.12 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 91.01%. Esto representa una mejora del 4.83% respecto al concreto patrón sometido a curado al aire libre.

Gráfico 19: Prueba a compresión a los 28 días



Fuente: Creación Propia

Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 56 días:

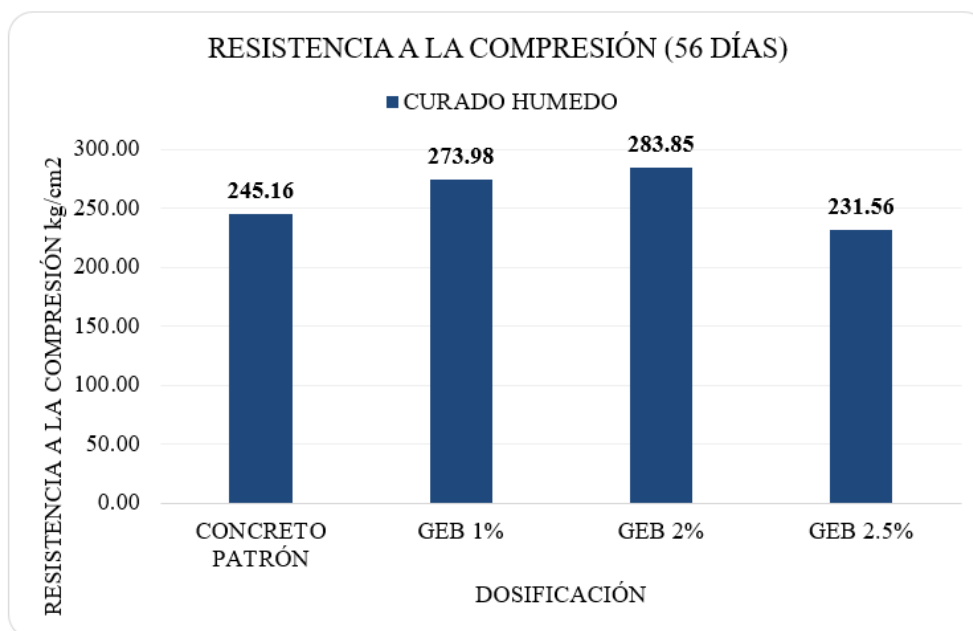
*Tabla 53: Prueba a compresión a los 56 días*

<b>METODO DE CURADO</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)</b>
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	245.16	116.74
HUMEDO	GEB 1%	273.98	130.47
HUMEDO	GEB 2%	283.85	135.17
HUMEDO	GEB 2.5%	231.56	110.27

*Fuente: Creación Propia*

A los 56 días, se halló que el concreto patrón sometido a curado húmedo alcanzó una resistencia promedio de 245.16 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 116.74%. Por otro lado, el Grupo Experimental con Biocarbón (GEB) en la dosificación del 2% logró el mejor resultado, obteniendo una resistencia de 283.85 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de diseño del 135.17%. En comparación la muestra patrón, se evidenció una mejora del 18.43% en la resistencia.

*Gráfico 20: Prueba a compresión a los 56 días*



*Fuente: Creación Propia*

Incremento de la resistencia del concreto patrón:

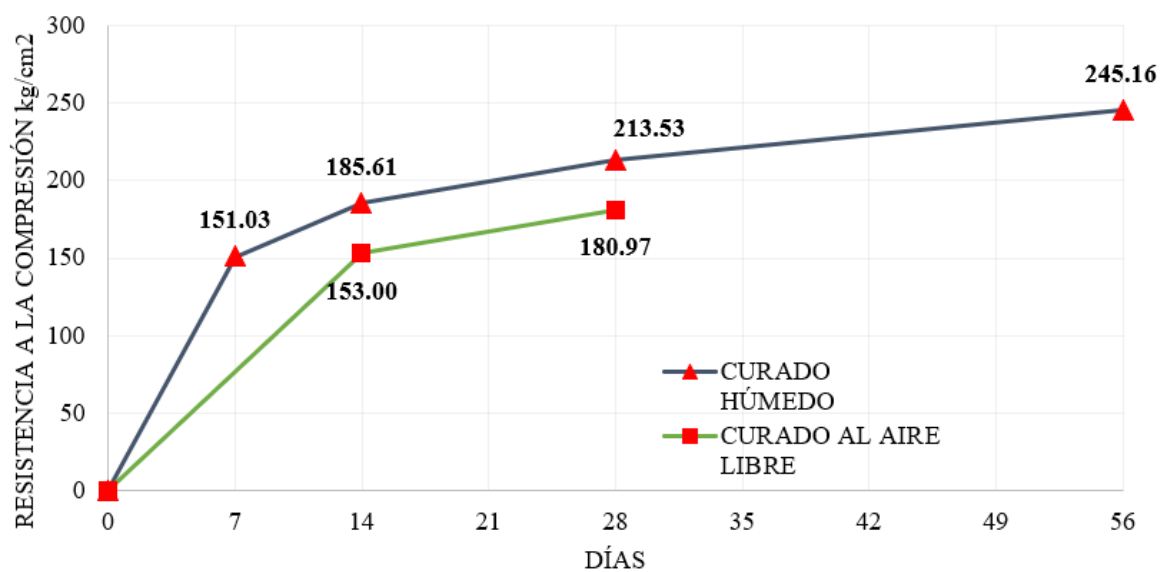
Tabla 54: Progreso de la resistencia del concreto patrón

METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	DÍAS	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	7	151.03	71.92
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	14	185.61	88.39
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	28	213.53	101.68
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	56	245.16	116.74
AIRE LIBRE	CONCRETO PATRÓN	14	153.00	72.86
AIRE LIBRE	CONCRETO PATRÓN	28	180.97	86.18

Fuente: Creación propia

Aumento de resistencia constante a medida que pasa el tiempo:

Gráfico 21: Progreso de la resistencia del concreto patrón



Fuente: Creación Propia

Incremento de la resistencia del grupo experimental con biocarbón (GEB) al 1%:

*Tabla 55: Progreso de la resistencia del GEB al 1%*

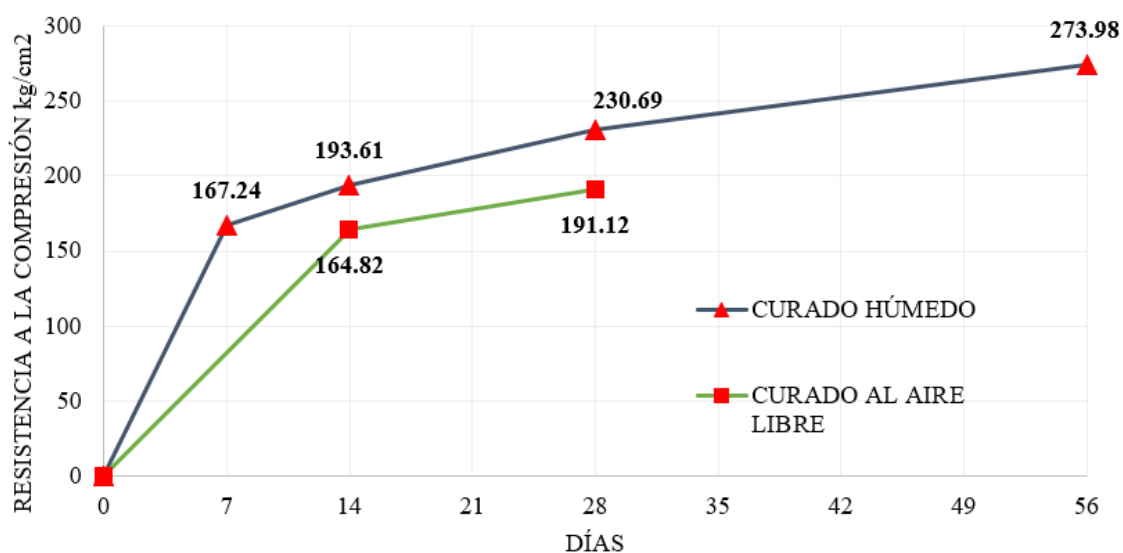
METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	DÍAS	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	GEB 1%	7	167.24	79.64
HUMEDO	GEB 1%	14	193.61	92.19
HUMEDO	GEB 1%	28	230.69	109.85
HUMEDO	GEB 1%	56	273.98	130.47
AIRE LIBRE	GEB 1%	14	164.82	78.49
AIRE LIBRE	GEB 1%	28	191.12	91.01

*Fuente: Creación Propia*

Como se puede observar en la tabla de resultado, el GEB al 1% tiene un incremento de resistencia a compresión constante.

*Gráfico 22: Progreso de la resistencia del GEB al 1%*

PROGRESO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL GEB 1%



*Fuente: Creación Propia*

Incremento de la resistencia del grupo experimental con biocarbón (GEB) al 2%:

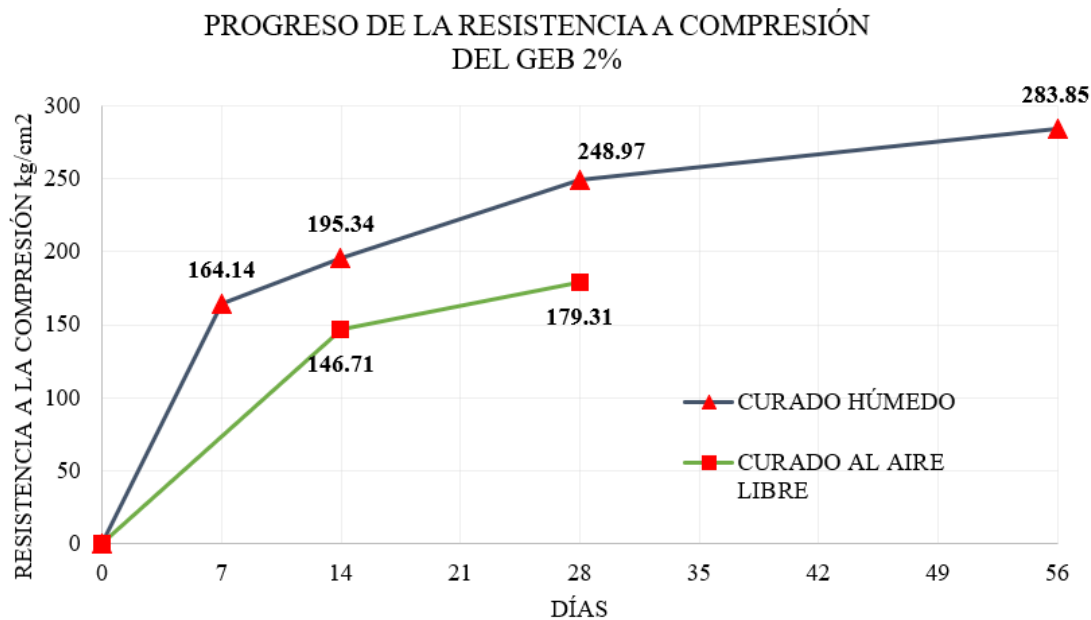
Tabla 56: Progreso de la resistencia del GEB al 2%

METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	DÍAS	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	GEB 2%	7	164.14	78.16
HUMEDO	GEB 2%	14	195.34	93.02
HUMEDO	GEB 2%	28	248.97	118.56
HUMEDO	GEB 2%	56	283.85	135.17
AIRE LIBRE	GEB 2%	14	146.71	69.86
AIRE LIBRE	GEB 2%	28	179.31	85.39

Fuente: Creación propia

Como se puede observar en la tabla de resultado, el GEB al 2% tiene un incremento de resistencia a compresión constante.

Gráfico 23: Progreso de la resistencia del GEB al 2%



Fuente: Elaboración propia

Incremento de la resistencia del grupo experimental con biocarbón (GEB) al 2.5%:

Tabla 57: Progreso de la resistencia del GEB al 2.5%

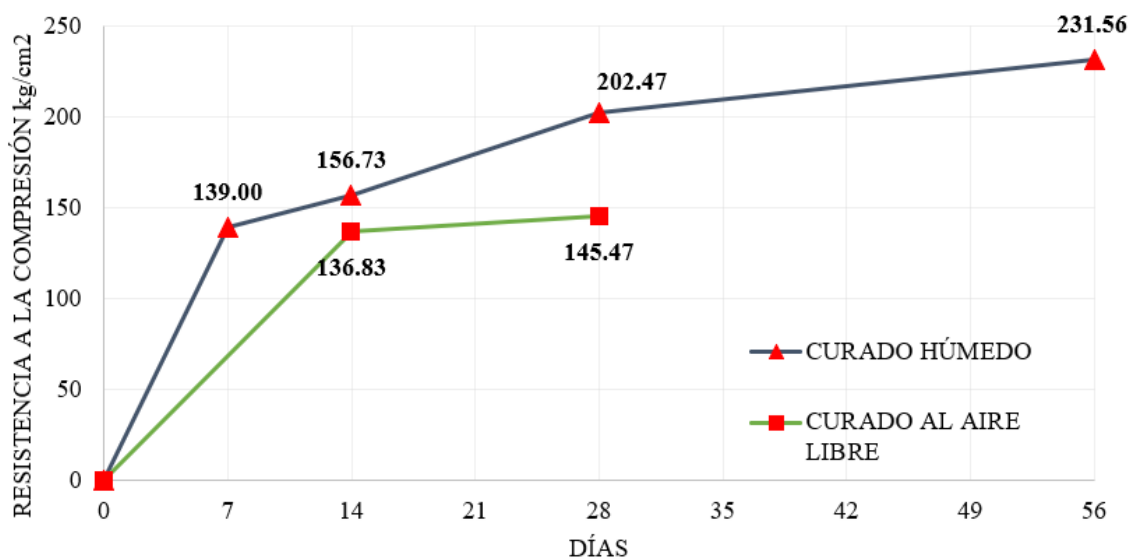
METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	DÍAS	f'c (kg/cm2)	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
HUMEDO	GEB 2.5%	7	139.00	66.19
HUMEDO	GEB 2.5%	14	156.73	74.63
HUMEDO	GEB 2.5%	28	202.47	96.42
HUMEDO	GEB 2.5%	56	231.56	110.27
AIRE LIBRE	GEB 2.5%	14	136.83	65.16
AIRE LIBRE	GEB 2.5%	28	145.47	69.27

Fuente: Creación Propia

Como se puede observar en la tabla de resultado, el GEB al 2.5% tiene un incremento de resistencia a compresión constante.

Gráfico 24: Progreso de la resistencia del GEB al 2.5%

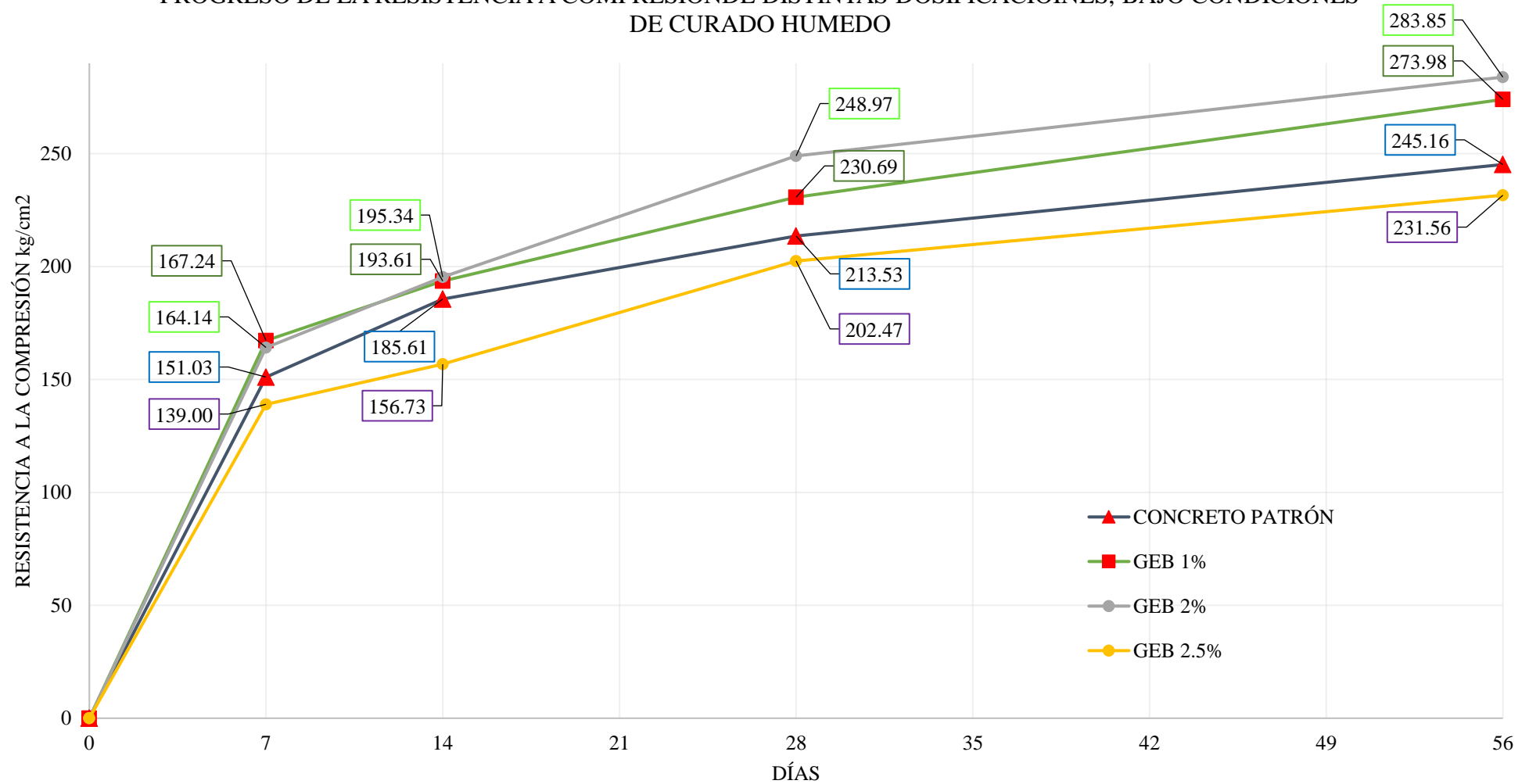
PROGRESO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL GEB 2.5%



Fuente: Creación Propia

Gráfico 25: Progreso de resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto con biocarbón

PROGRESO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DISTINTAS DOSIFICACIONES, BAJO CONDICIONES DE CURADO HUMEDO



Fuente: Creación Propia

### Resultados del ensayo a flexión del concreto

DENOMINACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	CARGA (N)	ANTIGÜEDAD DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) PROMEDIO
CURADO HUMEDO							
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	24909	7	3.32	33.87	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	24026	7	3.20	32.67	34.22
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	26576	7	3.54	36.13	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	30204	28	4.03	41.07	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	28439	28	3.79	38.67	39.95
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	29518	28	3.94	40.13	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	34421	56	4.59	46.80	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	34127	56	4.55	46.40	46.40
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	33833	56	4.51	46.00	
CURADO AL AIRE LIBRE							
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	20104	28	2.68	27.33	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	21869	28	2.92	29.73	28.27
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	20398	28	2.72	27.73	
CURADO HUMEDO							
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	23830	7	3.18	32.40	
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	21182	7	2.82	28.80	30.53
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	22359	7	2.98	30.40	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	22359	28	2.98	30.40	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	28047	28	3.74	38.13	35.07
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	26968	28	3.60	36.67	
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	28439	56	3.79	38.67	
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	31479	56	4.20	42.80	41.15
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	30891	56	4.12	42.00	
CURADO AL AIRE LIBRE							
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	20496	28	2.73	27.87	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	23340	28	3.11	31.73	29.87
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	22065	28	2.94	30.00	
CURADO HUMEDO							
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	25301	7	3.37	34.40	
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	25497	7	3.40	34.67	34.18
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	24615	7	3.28	33.47	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	28145	28	3.75	38.27	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	25595	28	3.41	34.80	37.02
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	27949	28	3.73	38.00	
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	26674	56	3.56	36.27	
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	28537	56	3.80	38.80	
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	28341	56	3.78	38.53	37.87
CURADO AL AIRE LIBRE							

GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	13729	28	1.83	18.67	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	19907	28	2.65	27.07	24.04
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	19417	28	2.59	26.40	
<b>CURADO HUMEDO</b>							
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	25203	7	3.36	34.27	
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	24026	7	3.20	32.67	33.33
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	24320	7	3.24	33.07	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	25203	28	3.71	37.87	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	24026	28	3.27	33.33	35.33
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	24320	28	3.41	34.80	
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28439	56	3.79	38.67	
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28341	56	3.78	38.53	28.90
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28243	56	3.77	38.40	
<b>CURADO AL AIRE LIBRE</b>							
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	14808	28	1.97	20.13	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	16769	28	2.24	22.80	21.33
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	15494	28	2.07	21.07	

*Fuente: Creación Propia*

Resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 7 días:

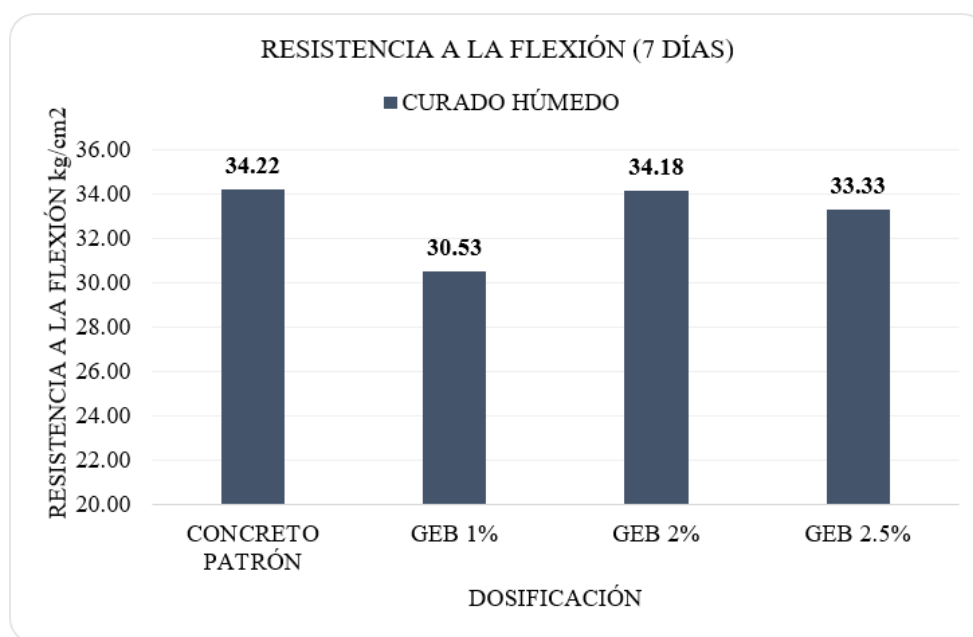
*Tabla 58: Prueba de flexión a los 7 días*

<b>METODO DE CURADO</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>	<b>MÓDULO DE ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	34.22
HUMEDO	GEB 1%	30.53
HUMEDO	GEB 2%	34.18
HUMEDO	GEB 2.5%	33.33

*Fuente: Creación Propia*

A los 7 días, se determinó que la muestra patrón llegó a un módulo de rotura promedio de 34.22 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, la dosificación que mostró un módulo de rotura cercano muestra patrón fue el Grupo Experimental con biocarbón (GEB) del 2%, registrando un valor de 34.18 kg/cm<sup>2</sup>.

Gráfico 26: Prueba de flexión a los 7 días



Fuente: Creación Propia

Resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 28 días:

Tabla 59: Prueba de flexión a los 28 días

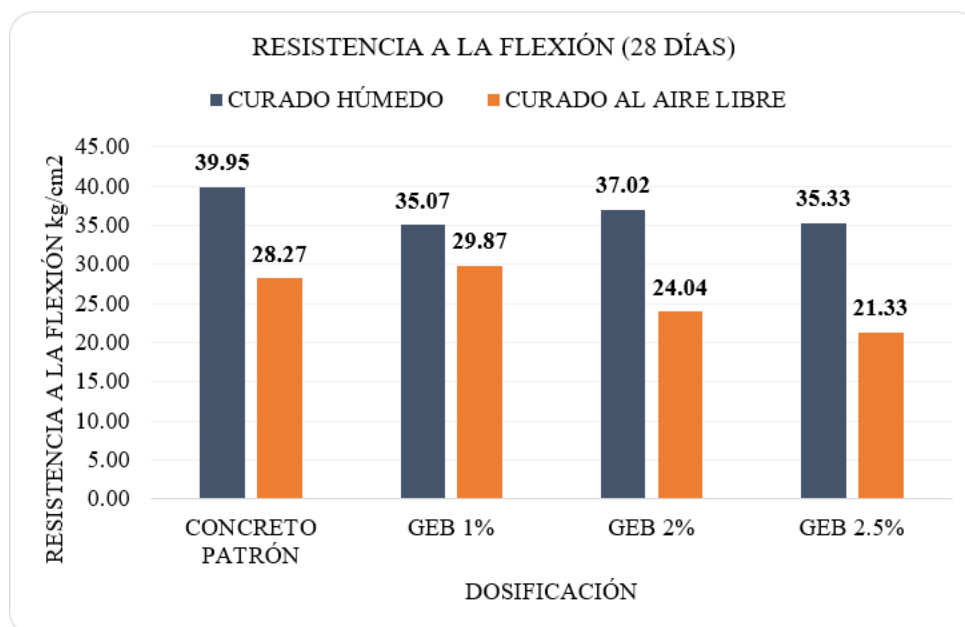
METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	39.95
HUMEDO	GEB 1%	35.07
HUMEDO	GEB 2%	37.02
HUMEDO	GEB 2.5%	35.33
AIRE LIBRE	CONCRETO PATRÓN	28.27
AIRE LIBRE	GEB 1%	29.87
AIRE LIBRE	GEB 2%	24.04
AIRE LIBRE	GEB 2.5%	21.33

Fuente: Creación Propia

A los 28 días, se determinó que el concreto patrón sometido a curado húmedo alcanzó un módulo de rotura promedio de 39.95 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, la dosificación que mostró un módulo de rotura cercano a la muestra patrón fue el Grupo Experimental con biocarbón (GEB) del 2%, registrando un valor de 37.02 kg/cm<sup>2</sup>.

Por otro lado, el concreto patrón que fue expuesto a un curado al aire libre obtuvo un módulo de rotura promedio de 28.27 kg/cm<sup>2</sup> y la dosificación que supero al concreto patrón fue el GEB al 1%, con 29.87 kg/cm<sup>2</sup>.

*Gráfico 27: Prueba de flexión a los 28 días*



*Fuente: Creación Propia*

Resistencia a la flexión de vigas de concreto a los 56 días:

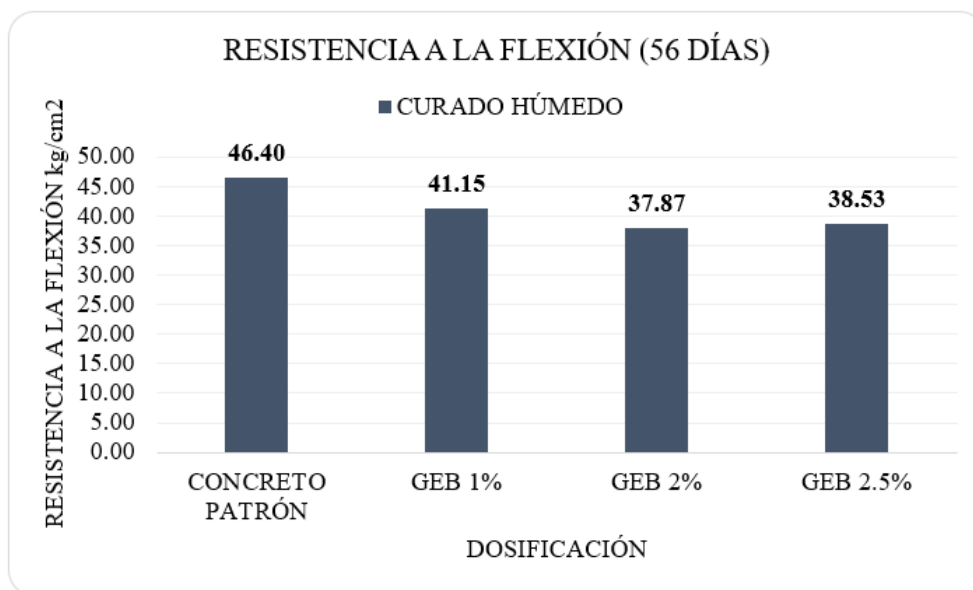
*Tabla 60: Prueba de flexión a los 56 días*

METODO DE CURADO	DOSIFICACIÓN	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
HUMEDO	CONCRETO PATRÓN	46.40
HUMEDO	GEB 1%	41.15
HUMEDO	GEB 2%	37.87
HUMEDO	GEB 2.5%	38.53

*Fuente: Creación propia*

A los 56 días, se determinó que el concreto patrón sometido a curado húmedo alcanzó un módulo de rotura promedio de 46.40 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, la dosificación que mostró un módulo de rotura cercano a la muestra patrón fue el Grupo Experimental con biocarbón (GEB) del 1%, registrando un valor de 41.15 kg/cm<sup>2</sup>.

Gráfico 28: Prueba de flexión a los 56 días



Fuente: Creación Propia

### Resultados del ensayo de módulo de elasticidad

El ensayo de módulo de elasticidad se realizó a los 28 días, solo se aplicó el ensayo a probetas cilíndricas de concreto que fueron sometidas a curado húmedo

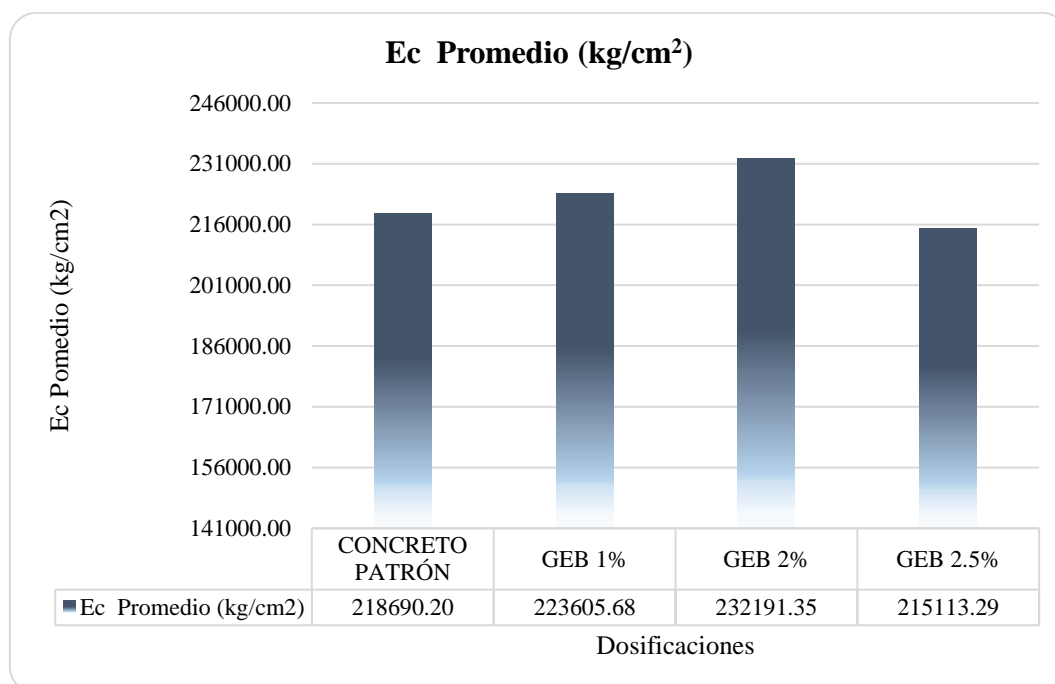
Tabla 61: Modulo de elasticidad de la muestra patrón y la muestra con biocarbón

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	$E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio $E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>
CONCRETO PATRÓN	1/05/2023	29/05/2023	28	212.36	85	14.69555	0.000374	217098	218690.20
CONCRETO PATRÓN	1/05/2023	29/05/2023	28	212.93	85	14.73354	0.000372	218862	
CONCRETO PATRÓN	1/05/2023	29/05/2023	28	214.15	86	14.81764	0.000372	220111	
GEB 1%	1/05/2023	29/05/2023	28	220.59	88	15.16325	0.000376	224103	223605.68
GEB 1%	1/05/2023	29/05/2023	28	217.14	87	14.92672	0.000376	220607	
GEB 1%	1/05/2023	29/05/2023	28	232.04	93	14.17930	0.000398	226108	
GEB 2%	1/05/2023	29/05/2023	28	228.86	92	15.72135	0.000383	227725	232191.35
GEB 2%	1/05/2023	29/05/2023	28	238.20	95	14.58277	0.000398	231564	
GEB 2%	1/05/2023	29/05/2023	28	249.56	100	15.23892	0.000406	237285	
GEB 2.5%	1/05/2023	29/05/2023	28	207.46	83	12.66592	0.000391	205985	215113.29
GEB 2.5%	1/05/2023	29/05/2023	28	211.05	84	14.53531	0.000000	220679	
GEB 2.5%	1/05/2023	29/05/2023	28	209.83	84	14.41504	0.000000	218675	

Fuente: Elaboración propia

Mediante este ensayo, se puede evaluar la rigidez del concreto y su comportamiento ante una carga de compresión. Según el ACI 318-2014, se puede determinar el módulo de elasticidad teórico del concreto utilizando la fórmula  $15000 \cdot \sqrt{f'c}$ , la cual se basa en la resistencia del concreto expresada en  $\text{kg/cm}^2$ . A continuación, se seguirán los resultados obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad, siguiendo la norma ASTM C-469, tanto para el grupo de control como para el grupo experimental con dosificaciones del 1%, 2% y 2,5% de biocarbón. Estos resultados se muestran a continuación:

Gráfico 29: Modulo de elasticidad del concreto convencional y con biocarbón



*Fuente: Elaboración Propia*

## Resultados del ensayo de fisuración

Para el ensayo de fisuración se realizaron dos paneles por cada dosificación:

Muestra Patrón:

*Tabla 62: Ancho de fisura de panel 1 del concreto patrón*

PANEL DE CONTROL N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
29/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.31	0.33
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.35	
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.33	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.47
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.48	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.47	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.51	0.54
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.56	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.54	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.54

*Fuente: Resultado de análisis de laboratorio*

*Tabla 63: Ancho de fisura de panel 2 del concreto patrón*

PANEL DE CONTROL N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
29/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.27	0.27
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.24	
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.31	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.41	0.41
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.36	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.45	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.52	0.53
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.50	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.57	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.53

*Fuente: Resultado de análisis de laboratorio*

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles (Patrón): 0.535 mm

GEB 1%:

Tabla 64: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 1%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 1% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
30/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.28	0.29
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.29	
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.31	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.36	0.37
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.39	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.48	0.49
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.49	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.50	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.49

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Tabla 65: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 1%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 1% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
30/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.32	0.30
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.30	
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.29	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.41	0.38
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.37	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.35	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.51	0.48
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.47	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.45	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.48

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles (GEB 1%): 0.485 mm

GEB 2%:

Tabla 66: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 2%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
31/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.25	0.27
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.27	
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.29	
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.34	0.36
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.38	
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.41	0.43
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.44	
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.43	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.43

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Tabla 67: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 2%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
31/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.21	0.25
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.26	
31/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.29	
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.30	0.34
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.34	
1/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.37	
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.46	0.48
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.48	
1/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.50	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.48

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles (GEB 2%): 0.455 mm

GEB 2.5%:

Tabla 68: Ancho de fisura de panel 1 del GEB 2.5%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2.5% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
1/06/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.35	0.35
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.34	
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.36	
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.45
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.43	
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.47	
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.50	0.50
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.48	
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.52	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.50</b>

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Tabla 69: Ancho de fisura de panel 2 del GEB 2.5%

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2.5% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
1/06/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.31	0.36
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.42	
1/06/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.36	
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.40	0.47
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.54	
2/06/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.46	
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.44	0.52
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.60	
2/06/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.51	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.52</b>

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles (GEB 2.5%): 0.510 mm

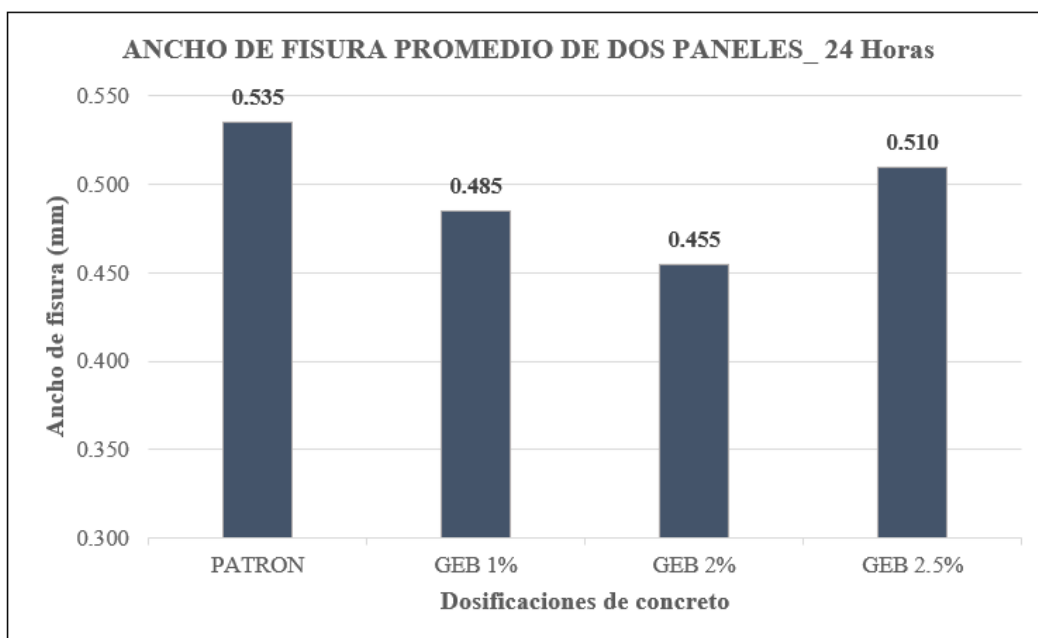
A continuación, se presenta el ancho de fisura promedio de la muestra patrón y las muestras con Biocarbón:

*Tabla 70: Promedio de fisuras*

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>ANCHO DE FISURA</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>PATRON</b>	0.535	mm
<b>GEB 1%</b>	0.485	mm
<b>GEB 2%</b>	0.455	mm
<b>GEB 2.5%</b>	0.510	mm

*Fuente: Creación Propia*

*Gráfico 30: Promedio de fisuras a las 24 Horas*



*Fuente: Creación Propia*

## Resultados del ensayo de peso específico del Biocarbón

Tabla 71: Peso específico del biocarbón

<b>BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA.</b>	(gr)	30
<b>Vol.inicial kerosene</b>	(ml)	0.5
<b>Vol.final desplazado kerosene</b>	(ml)	18.2
<b>Densidad Biocarbón de resto de madera</b>	(g/ml)	<b>1.69</b>

Fuente: Resultado de análisis de laboratorio

La densidad del biocarbón de restos de madera es de 1.69 g/cm<sup>3</sup>,

## Resultados del análisis químico (difracción de rayos x) del biocarbón

Tabla 72: Análisis de composición química del biocarbón

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % <sup>(1)</sup>	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	61.937	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva <sup>(2)</sup>
Potasio, K	21.285	
Magnesio, Mg	8.007	
Azufre, S	2.238	
Fósforo, P	2.175	
Hierro, Fe	1.683	
Silicio, Si	1.171	
Terbio, Tb	0.0428	
Estroncio, Sr	0.0428	
Cinc, Zn	0.242	
Cobre, Cu	0.171	
Manganeso, Mn	0.153	
Rubidio, Rb	0.081	

<sup>(1)</sup> Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

<sup>(2)</sup> Método utilizado aceptado por el solicitante.

Fuente: Laboratorio de química Labicer – UNI

Tabla 73: Análisis de composición química del biocarbón expresado en óxidos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % <sup>(1,2)</sup>	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	60.217	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva <sup>(3)</sup>
Óxido de potasio, K <sub>2</sub> O	19.023	
Óxido de Magnesio, MgO	7.290	
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	4.554	
Óxido de fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.878	
Óxido de silicio, SiO <sub>2</sub>	2.132	
Óxido de hierro. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.607	
Óxido de estroncio, SrO	0.384	
Óxido de terbio, Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0.359	
Óxido de cinc, ZnO	0.209	
Óxido de cobre, CuO	0.147	
Óxido de manganeso, MnO	0.133	
Óxido de rubidio, Rb <sub>2</sub> O	0.066	

Fuente: Laboratorio de química Labicer – UNI

De acuerdo análisis de espectrometría de rayos x con la maquina EDX 800HS, se encontraron los componentes principales que están conformados por: Óxido de calcio, CaO, Óxido de hierro. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Óxido de silicio, SiO<sub>2</sub> con porcentajes de 60.217%, 1.607% y 2.132%, respectivamente. Conformando en su conjunto 63.956% de componentes cementantes. La máquina tiene un límite de detección de 0.002% (20ppm) y cada modelo de análisis se estima que toma alrededor de 200 segundos. El dispositivo tiene un margen de error de ± 0.02% en sus mediciones.

## Discusión

### Asentamiento del concreto

Con relación la prueba de asentamiento de la muestra de control y de los Grupos Experimentales con Biocarbón (GEB) en dosificaciones de 1%, 2% y 2.5%, se determinó una correlación entre la cantidad de biocarbón y el acortamiento del slump, pues se observó que a medida que se incrementaba el reemplazo parcial de cemento por biocarbón, se producía una reducción en el asentamiento de la mezcla.

Según Roychand R. [21], menciona que el biocarbón tiene la capacidad de retener agua debido a la porosidad que se genera al mezclarlo con el concreto. Por lo tanto, se puede afirmar que la dosificación más alta de biocarbón, es decir, el 2.5%, presenta un slump menor de 2.98 in. en comparación con el asentamiento de la muestra de control (3.90 in), este se redujo en 0.92 in, lo que representa una disminución del 24%. Sin embargo, la adición de biocarbón al concreto puede incrementar la consistencia plástica del material, lo cual puede restringir la manejabilidad del concreto fresco. Esto se debe a que el biocarbón absorbe agua en sus poros, lo que disminuye la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento. Como resultado, esto afecta la capacidad de fluidez del concreto.

En el estudio realizado por Turovara M. (2022) [4], se investigan los cambios en la trabajabilidad de la mezcla mediante la prueba de asentamiento. Para ello, se sustituyó un porcentaje del 5%, 10% y 20% de biocarbón, y demostró que los resultados con una reducción del 20% presentaron dificultades para medir el asentamiento de manera precisa. Del mismo modo, los otros porcentajes también mostraron cierta dificultad en su medición, aunque no tanto como en la dosificación más alta. Por otro lado, Sirico et al. (2021) [48] llevó a cabo una prueba similar utilizando dosificaciones del 2,5 %, 5 %, 7,5 % y 10 %, esta vez añadiendo un aditivo superplastificante llamado Mapei Dynamon Xtend. Los resultados fueron favorables hasta el porcentaje del 7,5%, donde se obtuvo una consistencia S4 (fluida). Sin embargo, al aumentar la dosificación al 10% pudo alcanzar solo una consistencia S1 (seca), con una cantidad razonable de superplastificante.

En definitiva, se puede afirmar que reemplazar o agregar cantidades excesivas de biocarbón en la mezcla de concreto puede afectar la trabajabilidad, ya que los estudios experimentales indican que el biocarbón tiende a actuar como un absorbente de humedad.

### **Exudación del concreto**

A través de esta prueba, se pudo determinar que a medida que se incrementaba el porcentaje de biocarbón, el volumen de agua exudado por el concreto se reducía. Específicamente, en el grupo experimental de biocarbón (GEB) con un porcentaje del 2,5%, se descubrió la menor cantidad de exudación, con 4,55 ml en comparación con la muestra de control, que fue de 5,94 ml.

Como se mencionó anteriormente, una de las propiedades del biocarbón es su capacidad para retener agua, lo que ayuda a prevenir la segregación. A medida que se aumenta el porcentaje de biocarbón, la exudación de la mezcla disminuye; además, Gupta et al. 2018 [19] informo en su artículo que se requiere más agua en el diseño de mezcla cuando se agrega biocarbón debido a su contenido de carbono y su microestructura porosa particular. Lo que se confirma que al usar más contenido de biocarbón el agua exudada de las muestras tienden a reducirse.

En parte esto puede resultar beneficioso para la calidad y la durabilidad del concreto, ya que una menor exudación puede contribuir a una mejor resistencia y cohesión del material. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un exceso de biocarbón puede tener efectos negativos. Una exudación anormal puede aumentar la contracción en etapas tempranas, aumentar la tendencia del concreto a agrietarse y, en última instancia, reducir su resistencia [49].

### **Tiempo de fraguado**

Los resultados obtenidos revelaron que la incorporación de biocarbón en la mezcla de concreto produjo una reducción significativa en el tiempo de fraguado en comparación con el concreto patrón. Esto evidencia que la presencia de biocarbón acelera el proceso de fraguado. Analizando los datos del tiempo de fraguado desde el inicio hasta el fraguado final, se observa que el grupo de control alcanzó el fraguado en 5 horas y 20 minutos, mientras que los grupos experimentales (GEB) con dosificaciones del 1%, 2% y 2.5% lograron el fraguado en 2 horas y 23 minutos, 2 horas y 30 minutos, y 2 horas y 20 minutos, respectivamente.

En apoyo a estos hallazgos, Jia et al. (2023) [50] menciona que los tiempos de fraguado inicial y final disminuyeron de manera casi lineal al aumentar el porcentaje de sustitución con biocarbón. Además, Gupta et al. (2018) [51] encontraron que el tiempo de fraguado inicial se redujo en un 33% al utilizar un 2% de biocarbón de aserrín. Estos resultados podrían atribuirse al efecto de llenado que ejerce el biocarbón y a su capacidad para retener agua, lo que mejora la cohesión de las mezclas y al mismo tiempo reduce la segregación de agua.

Tabla 74: Fraguado inicial ha Fraguado final

	Concreto Patrón	GEB 1%	GEB 2%	GEB 2.5%	
<b>Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI:</b>	08:09	07:22	06:50	06:40	Horas
<b>Tiempo Fraguado Final 4000 PSI:</b>	13:30	09:45	09:20	09:00	Horas
<b>Tiempo de Fraguado Inicial ha Fraguado final:</b>	05:20	02:23	02:30	02:20	Horas

Fuente: Elaboración Propia

### Resistencia a compresión

Con el fin de realizar una comparación y análisis de las resistencias a compresión obtenidas mediante el método de curado húmedo en esta investigación, se tomarán en cuenta otros estudios relacionados que se centren en el mismo tipo de investigación. En este sentido, se analizará el rango máximo y mínimo de resistencia de cada estudio. No obstante, es importante destacar que, dado que el biocarbón presenta diversas variantes orgánicas, no todos los estudios considerados se centrarán en el uso específico del biocarbón de madera.

En la siguiente lista se presentará los autores escogidos con sus respectivas investigaciones:

- **REF [2]:** T. Barissov, “Application of Biochar as Beneficial Additive in Concrete,” 2021.
- **REF [4]:** M. Turovaara, “The effect of high-ratio biochar replacement in concrete on performance properties-Experimental study of biochar addition to concrete mixture.”
- **REF [19]:** S. Gupta and H. W. Kua, “Effect of water entrainment by pre-soaked biochar particles on strength and permeability of cement mortar,” *Constr Build Mater*, vol. 159, pp. 107–125, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.095.
- **REF [52]:** D. Ali et al., “Thermo-physical properties and microstructural behaviour of biochar-incorporated cementitious material,” *Journal of Building Engineering*, vol. 64, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.105695.
- **REF [53]:** S. Gupta, W. Kua, and S. Dai Pang, “Biochar-concrete composite: manufacturing, characterization and performance evaluation at elevated temperature.”
- **REF [54]:** H. Maljaee, H. Paiva, R. Madadi, L. A. C. Tarelho, M. Morais, and V. M. Ferreira, “Effect of cement partial substitution by waste-based biochar in mortars properties,” *Constr Build Mater*, vol. 301, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124074.

Datos de las investigaciones:

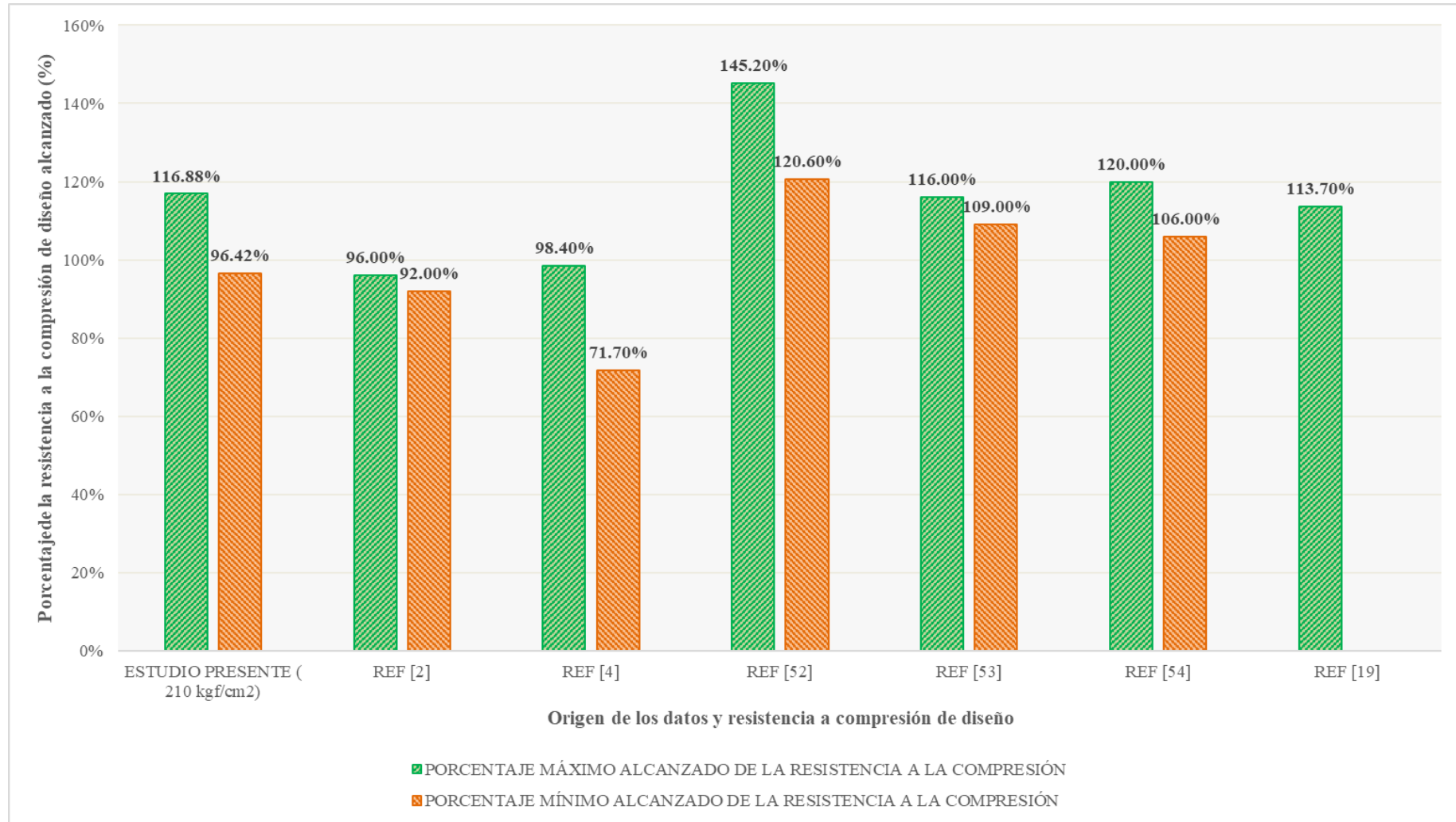
Tabla 75: Comparación de resistencia a compresión en porcentajes a los 28 días de diversas investigaciones que trabajaron con Biocarbón

ORIGEN DE LOS DATOS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO	BIOCARBÓN	PORCENTAJE MÁXIMO ALCANZADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		PORCENTAJE MÍNIMO ALCANZADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DOSIFICACION DE BIOCARBÓN	% Máx.	DOSIFICACION DE BIOCARBÓN	% Mín.
ESTUDIO PRESENTE (210 <del>kgf</del> /cm <sup>2</sup> )	Madera	2%	116.88%	2.5%	96.42%
REF [2]	Restos de Maíz	5%	96.00%	15%	92.00%
REF [4]	Madera	5%	98.40%	10%	71.70%
REF [52]	Aserrín	3%	145.20%	1%	120.60%
REF [53]	Madera	0.50%	116.00%	2%	109.00%
REF [54]	Pepa de aceituna	2%	120.00%	1%	106.00%
REF [19]	Aserrín	2%	113.70%	-	-

Fuente: Creación Propia

En gráfico:

Gráfico 31: Comparación de resistencia a compresión en porcentajes a los 28 días de diversas investigaciones que trabajaron con Biocarbón



Fuente: Creación Propia

La dosificación óptima correspondiente a la compresión del concreto bajo condiciones de curado húmedo fue el grupo experimental con biocarbón al 2%, este grupo presentó una mejora significativa del 16.88% en comparación con la muestra patrón a los 28 días. Estos resultados están relacionados con los resultados obtenidos por los investigadores [2], [4], [19], [52]–[54], puesto que la mayoría de los resultados logran aumentar la resistencia del concreto cuando la dosificación de biocarbón es menor al 3%.

Así mismo, se logra corroborar que al aumentar la dosificación del biocarbón en la mezcla, el concreto disminuye su resistencia. Así como en la presente investigación la menor resistencia la obtuvo el grupo experimental con biocarbón al 2.5%, la cual no logro superar o igualar a la muestra patrón.

Los autores mencionados también enfrentaron el mismo problema, ya que al aumentar el porcentaje de biocarbón en sus investigaciones, experimentaron una reducción en la resistencia del concreto. Sin embargo, es importante señalar que esta resistencia puede variar dependiendo de la materia orgánica utilizada para producir el biocarbón, ya que la composición química de cada material va a ser distinto, y en algunos casos el biocarbón puede presentar compuestos que se relacionan mejor con los componentes cementantes necesarios para el concreto.

Es relevante destacar que esta propiedad mecánica del concreto continúa incrementándose a medida que transcurre el tiempo. Ya que en el presente estudio se siguió haciendo pruebas al concreto con biocarbón al 2% y éste siguió incrementando su resistencia a los 56 días, alcanzando un 18.43% de mejora en comparación con la muestra patrón. Esto se puede confirmar con la investigación de Turovaara n. d. [4], en la cual se registró un aumento de resistencia del 4.7% entre los 28 y 56 días utilizando una dosificación de biocarbón del 5% (tabla 75). La razón por la cual el concreto con biocarbón continúa mejorando su resistencia con el tiempo se atribuye a las notables propiedades de absorción y retención de agua que posee el biocarbón. Estas características permiten que el concreto mantenga condiciones óptimas de curado durante un período extendido, lo que se traduce en un incremento continuo de su resistencia, incluso más allá de los tradicionales 28 días de curado.

La resistencia del concreto que fue curado al aire libre no logro llegar a la resistencia requerida o de diseño (210 kg/cm<sup>2</sup>). En los resultados se observa que la resistencia de la muestra patrón es de 180.97 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 86.18% de la resistencia del diseño. El grupo experimental con una dosificación de biocarbón del 1% logró superar a la muestra patrón, alcanzando una resistencia de 191.12 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale al 91.01% de la resistencia de diseño. Esta mejora se debe al pequeño porcentaje de biocarbón utilizado, que contribuye a la absorción de agua del diseño de mezcla y a la absorción de moléculas de agua presentes en la

atmósfera. Sin embargo, al reemplazar mayores cantidades de biocarbón, la resistencia disminuye.

El concreto necesita una cantidad adecuada de humedad para desarrollar su resistencia, y el curado al aire libre puede dificultar el mantenimiento de la humedad óptima. Además, el biocarbón también puede afectar la resistencia del concreto por su porosidad y capacidad de absorción de agua. El exceso de porosidad en el biocarbón podría limitar la capacidad del concreto para alcanzar su máxima resistencia debido al acortamiento en la cantidad de agua disponible para hidratar el cemento.

En definitiva, la resistencia a compresión del concreto con el método de curado al aire libre utilizando biocarbón sí mejora la resistencia con respecto a la muestra patrón. Sin embargo, es necesario realizar el curado del concreto en condiciones húmedas para lograr la resistencia deseada por el diseño ( $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>). Esto se debe a la necesidad de mantener la humedad adecuada para el desarrollo óptimo de la resistencia del concreto.

### **Resistencia a la flexión**

En este contexto, se puede observar que el concreto con la adición de biocarbón muestra una disminución en su resistencia a la flexión en comparación con el grupo de control. Esta reducción de la resistencia puede deberse a varios factores. Uno de ellos es la sustitución de parte del cemento por biocarbón en la mezcla, lo cual podría haber alterado la distribución del tamaño de los poros en la matriz del concreto, afectando, de esta manera, su capacidad para flexionarse.

Al reemplazar una parte del cemento en la mezcla de concreto por biocarbón, la flexibilidad del material se ve reducida, principalmente debido a la composición química del biocarbón, que no cuenta con todos los componentes cementantes necesarios para mejorar esta propiedad del concreto. Esto explica por qué en investigaciones donde se añade biocarbón a la mezcla sin modificar la cantidad de cemento, es decir, sin reemplazarlo, los resultados suelen ser más favorables, contribuyendo así a mejorar la resistencia a la flexión del concreto.

De acuerdo con la investigación realizada por Alice S. [55], quien utilizó biocarbón de astillas de madera en distintas dosificaciones, se encontró que al adicionar un 2% de biocarbón a la mezcla, se obtuvo un aumento del 15% en el módulo de rotura, indicando que el biocarbón puede mejorar la resistencia a la flexión del concreto en ciertas proporciones. Sin embargo, cuando se sustituyó un porcentaje de cemento por biocarbón, se observó una disminución en el módulo de rotura en comparación con la muestra patrón. En otras palabras, el biocarbón puede

mejorar la resistencia a la flexión del concreto cuando se añade a la mezcla, pero su efecto puede ser negativo al reemplazar parte del cemento por biocarbón.

Es importante destacar que, a pesar de esta disminución en la resistencia, no ha sido significativa. Por lo tanto, es posible encontrar soluciones ajustando las dosificaciones y los diseños de mezcla para lograr un mejor equilibrio entre el biocarbón y otros componentes del concreto.

### Modulo de elasticidad

Los resultados del módulo de elasticidad que arrojo la investigación son positivos, ya que usamos la fórmula que nos proporciona el ACI 318 ( $15000 \cdot \sqrt{f'c}$ ), para tener una base y comprobar el porcentaje que ha sido favorable o desfavorable el concreto con biocarbón.

*Tabla 76: Resumen módulo de elasticidad*

<i>Identificación</i>	<i>Promedio Ec (Kg/cm2)</i>	<i>Porcentaje de Ec (%)</i>
<i>Módulo de elasticidad teórico</i>	<i>217370.651</i>	<i>100</i>
<i>Concreto patrón</i>	<i>218690.20</i>	<i>100.607</i>
<i>GEB 1%</i>	<i>223605.68</i>	<i>102.868</i>
<i>GEB 2%</i>	<i>232191.35</i>	<i>106.818</i>
<i>GEB 2.5%</i>	<i>215113.29</i>	<i>98.962</i>

*Fuente: Creación Propia*

El grupo experimental con biocarbón (GEB) que utilizó una dosificación del 2% demostró el mayor incremento en el módulo de elasticidad, con un aumento del 6.21% en comparación con la muestra patrón. En segundo lugar, se encuentra el GEB 1%, que registró un incremento del 2.26%.

En la investigación realizada por Beskopylny et al. (2022) [56], también se observa un incremento en el módulo de elasticidad al adicionar biocarbón de paja de arroz procesada en una dosificación del 6%. Según sus resultados, se evidenció un aumento del 14% en el módulo de elasticidad.

Estos resultados indican que el biocarbón no solo aumenta la capacidad de carga del concreto, sino que también mejora su rigidez, lo que le permite comportarse de manera más efectiva frente a cargas, especialmente las de compresión. Esto se debe a la reducción en la relación agua-cemento al usar biocarbón lo que a menudo resulta en una mayor resistencia y

rigidez del concreto. Una menor relación agua-cemento suele producir una matriz de concreto más compacta y, por lo tanto, más rígida.

El biocarbón, al retener agua y mejorar la distribución de la humedad en el concreto, puede ayudar a reducir la contracción y la deformación del material durante el proceso de secado y curado. Esto a su vez puede mejorar la rigidez al minimizar la formación de grietas y fisuras.

### **Fisuración**

Con respecto a la fisuración por retracción plástica, el concreto patrón arrojó un ancho de fisura de 0.535 mm, siendo la dosificación del grupo experimental de biocarbón del 2% que se comportó mejor ya que se fisuro menos; incluso las otras dosificaciones se comportaron mejor que la muestra patrón.

Según Barissov et al. (2021) [2], se ha observado que el biocarbón no solo mejora la resistencia del concreto, sino que también incrementa la energía de fractura, es decir, la resistencia a la propagación de grietas. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que la incorporación de partículas finas de biocarbón en la matriz del concreto modifica el mecanismo de propagación de las grietas. Normalmente, cualquier falta de uniformidad en la estructura del concreto, como la presencia de agregados, fibras, espacios vacíos o poros, se considera un obstáculo para la propagación de las grietas. Esto resulta en un aumento de la energía requerida para que la grieta se propague a través de estas regiones, lo que puede llevar a la ramificación o desviación de la grieta.

El incremento en la energía de fractura del concreto con biocarbón puede atribuirse al efecto de refuerzo y restricción proporcionado por las partículas finas de biocarbón. Estas partículas actúan como barreras físicas que dificultan la propagación de las grietas y requieren una mayor cantidad de energía para romper las uniones en el material y crear fracturas superficiales.

## Evaluación económica

A continuación, se llevará a cabo un análisis económico basado en costos unitarios para evaluar las diferencias de costo entre el concreto convencional y el concreto con distintas dosificaciones de biocarbón de madera (1%, 2% y 2.5%). Utilizaremos como ejemplo una losa maciza de 10m<sup>2</sup> con un espesor de 20cm, la cual no tiene contacto directo con el suelo. Este análisis nos permitirá determinar cuál opción resulta más rentable desde el punto de vista económico.

Para determinar el costo del biocarbón se tomó la información de una tesis dedicada a la instalación y producción de biocarbón [57], de acuerdo a su análisis de precios un saco de biocarbón de 50 kg se vendería a 24.60 soles. Cabe resaltar que los precios de los materiales usados para el análisis de costos unitarios no incluyen IGV.

### Análisis de precio unitario del concreto convencional de una losa maciza

Tabla 77: Precio unitario del concreto convencional f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>

Partida: <b>CONCRETO F'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup> SIN BIOCARBON PARA LOSA MACIZA</b>					
Rendimiento:		20 m <sup>3</sup> /día			
Jornada		8 Hrs			
Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites				<b>TOTAL = 378.03</b>	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio	
				Unitario	Parcial
<b>Mano de obra</b>				<b>97.50</b>	
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49
Operador de equipo mediano	hh	1	0.400	27.12	10.85
Oficial	hh	2	0.800	20.6	16.48
Peón	hh	8	3.200	18.65	59.68
<b>Materiales</b>				<b>264.02</b>	
Cemento portland Tipo I (42.5 Kg)	Bls		9.099	22.03	200.45
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.502	49.15	24.67
Piedra chancada	m <sup>3</sup>		0.694	54.15	37.58
Agua	m <sup>3</sup>		0.214	6.13	1.31
<b>Equipos y herramientas</b>				<b>16.52</b>	
Desgaste de herramientas	%MO		3.000	97.50	2.92
Mezcladora de 11p3	hm	1	0.400	26.21	10.48
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.400	7.78	3.11

Fuente: Creación Propia

### Análisis de precio unitario del concreto con biocarbón al 1% de una losa maciza

Tabla 78: Precio unitario del concreto con Biocarbon al 1%

Partida: <b>CONCRETO F'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup> + 1% DE BIOCARBON PARA LOSA MACIZA</b>					
Rendimiento:	20	m3/día			
Jornada	8	Hrs			
Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites				<b>TOTAL =</b>	<b>377.92</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio	
				Unitario	Parcial
<b>Mano de obra</b>					<b>97.50</b>
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49
Operador de equipo mediano	hh	1	0.400	27.12	10.85
Oficial	hh	2	0.800	20.6	16.48
Peón	hh	8	3.200	18.65	59.68
<b>Materiales</b>					<b>263.91</b>
Cemento portland Tipo 1 (42.5 Kg)	Bls		9.008	22.03	198.45
Arena gruesa	m3		0.502	49.15	24.67
Piedra chancada	m3		0.694	54.15	37.58
Agua	m3		0.214	6.13	1.31
Biocarbón (50 Kg)	Bls		0.077	24.60	1.89
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>16.52</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.000	97.50	2.92
Mezcladora de 11p3	hm	1	0.400	26.21	10.48
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.400	7.78	3.11

Fuente: Creación Propia

### Análisis de precio unitario del concreto con biocarbón al 2% de una losa maciza

Tabla 79: Precio unitario del concreto con biocarbón al 2%

Partida: <b>CONCRETO F'c = 210 Kgf/cm<sup>2</sup> + 2% DE BIOCARBON PARA LOSA MACIZA</b>					
Rendimiento:		20	m3/día		
Jornada		8	Hrs		
Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites				<b>TOTAL = 377.84</b>	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio	
				Unitario	Parcial
<b>Mano de obra</b>				<b>97.50</b>	
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49
Operador de equipo mediano	hh	1	0.400	27.12	10.85
Oficial	hh	2	0.800	20.6	16.48
Peón	hh	8	3.200	18.65	59.68
<b>Materiales</b>				<b>263.82</b>	
Cemento portland Tipo 1 (42.5 Kg)	Bls		8.917	22.03	196.44
Arena gruesa	m3		0.502	49.15	24.67
Piedra chancada	m3		0.694	54.15	37.58
Agua	m3		0.214	6.13	1.31
Biocarbón (50 Kg)	Bls		0.155	24.60	3.81
<b>Equipos y herramientas</b>				<b>16.52</b>	
Desgaste de herramientas	%MO		3.000	97.50	2.92
Mezcladora de 11p3	hm	1	0.400	26.21	10.48
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.400	7.78	3.11

Fuente: Creación Propia

### Análisis de precio unitario del concreto con biocarbón al 2.5% de una losa maciza

Tabla 80: Precio unitario del concreto con biocarbón al 2.5%

Partida: <b>CONCRETO F'c = 210 Kgf/cm<sup>2</sup> + 2.5% DE BIOCARBON PARA LOSA MACIZA</b>					
Rendimiento:	20	m3/día			
Jornada	8	Hrs			
Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites				<b>TOTAL =</b>	<b>377.76</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio	
				Unitario	Parcial
<b>Mano de obra</b>					<b>97.50</b>
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49
Operador de equipo mediano	hh	1	0.400	27.12	10.85
Oficial	hh	2	0.800	20.6	16.48
Peón	hh	8	3.200	18.65	59.68
<b>Materiales</b>					<b>263.74</b>
Cemento portland Tipo 1 (42.5 Kg)	Bls		8.871	22.03	195.43
Arena gruesa	m3		0.502	49.15	24.67
Piedra chancada	m3		0.694	54.15	37.58
Agua	m3		0.214	6.13	1.31
Biocarbón (50 Kg)	Bls		0.193	24.60	4.75
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>16.52</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.000	97.50	2.92
Mezcladora de 11p3	hm	1	0.400	26.21	10.48
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.400	7.78	3.11

Fuente: Creación Propia

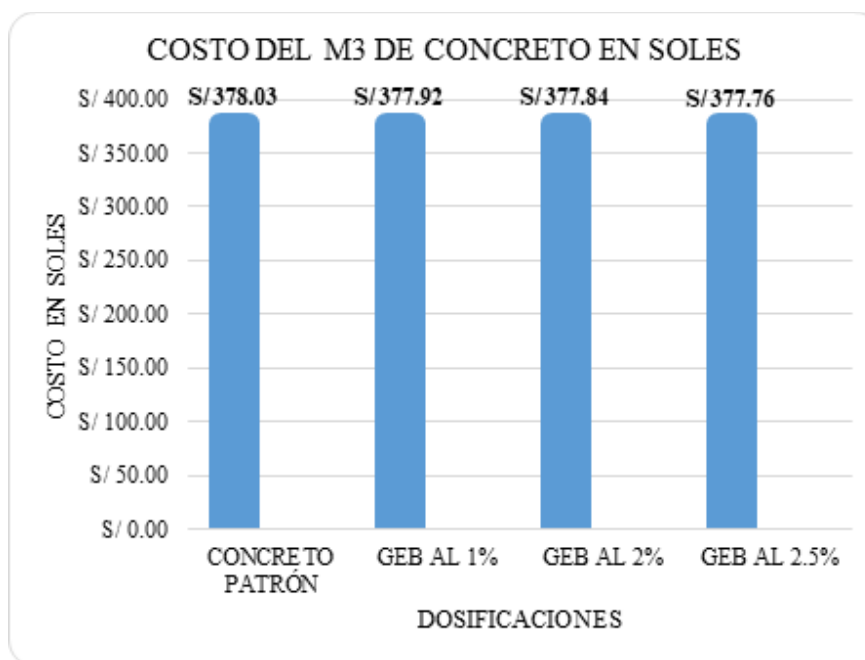
Resumen de la evaluación económica:

Tabla 81: Resumen de los precios unitarios por m<sup>3</sup>

DOSIFICACIÓN	COSTO POR M3 EN SOLES
CONCRETO PATRÓN	S/ 378.03
GEB AL 1%	S/ 377.92
GEB AL 2%	S/ 377.84
GEB AL 2.5%	S/ 377.76

Fuente: Creación Propia

Gráfico 32: Resumen de los precios unitarios por m<sup>3</sup>



Fuente: Creación Propia

Según el análisis de precios unitarios, se observa una relativa reducción en el costo por m<sup>3</sup> de concreto al utilizar biocarbón en comparación con el concreto convencional. Al aplicar una dosificación de biocarbón al 1%, se obtiene un ahorro de 0.11 nuevos soles por m<sup>3</sup>. Para una dosificación del 2% de biocarbón, el ahorro aumenta a 0.20 nuevos soles por m<sup>3</sup>. Finalmente, al utilizar una dosificación del 2.5% de biocarbón, el ahorro alcanza los 0.28 nuevos soles por m<sup>3</sup>. Se puede observar que no hay una reducción significativa en el costo de un concreto convencional a un concreto con adición de biocarbón. Sin embargo, el uso de biocarbón en pequeños porcentajes al reemplazar al cemento conlleva ventajas ambientales significativas.

La producción de cemento es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que reducir su cantidad mediante la incorporación de biocarbón en la mezcla de concreto puede contribuir a la mitigación del cambio climático. El biocarbón se considera una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, ya que se produce a partir de materiales orgánicos renovables y su proceso de fabricación es menos contaminante.

## Conclusiones

- Conforme al análisis de espectrometría de rayos X, se ha llegado a la conclusión que el biocarbón derivado de restos de madera no cumple con los requisitos mínimos establecidos por la norma ASTM C618 para ser considerado una puzolana. De acuerdo con dicha norma, las puzolanas deben contener un mínimo del 70% de Dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) más óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) más óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en su composición. Sin embargo, el biocarbón analizado arroja un porcentaje de solo 63.956% de Óxido de calcio,  $\text{CaO}$ , Óxido de hierro,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y Óxido de silicio,  $\text{SiO}_2$ . Además, se descarta su clasificación como puzolana debido a la escasez del componente principal mencionado en la norma, el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

- La trabajabilidad del concreto se ve afectada al sustituir parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, dado que, se estableció una conexión entre el asentamiento de la mezcla y la cantidad de biocarbón pues al incrementarse la dosificación de éste el asentamiento se acortaba. Siendo el porcentaje de biocarbón del 2.5% el que se vio más afectado acortándose hasta un 24% con respecto a la muestra patrón.

- Se concluye que existe una relación entre el volumen exudado y la cantidad de biocarbón en la mezcla, dado que, se halló una tendencia descendente al incrementarse el porcentaje de biocarbón, puesto que, esta tendencia descendente se afectó en mayor medida por la dosificación con biocarbón de 2.5% la cual alcanzo una exudación de 4.55 ml, y esta fue inferior a la que arrojo la muestra patrón la cual fue de 5.94 ml. Esta disminución puede ser atribuida a la ampliada área superficial del biocarbón, lo cual contribuye a una mayor absorción de agua y a la obtención de una estructura más densa. Asimismo, el biocarbón también actúa como un estabilizador al mejorar la unión de los componentes de la mezcla, lo que reduce la propensión a la segregación y la exudación. Por consiguiente, la pérdida de agua del concreto también se ha reducido gracias a la capacidad de absorción de agua proporcionada por el biocarbón.

- En el presente estudio investigativo se determinó el fraguado inicial de la mezcla con biocarbón y la mezcla patrón; la muestra patrón consiguió su fraguado inicial a las 08:09 horas, y las dosificaciones con biocarbón al 1%, 2% y 2.5% consiguieron sus fraguados iniciales a las 07:22 horas, 06:50 horas y 06:40 horas, respectivamente. En conclusión, la dosificación con biocarbón del 2.5% puede reducirse hasta 01:29 horas con respecto a la muestra patrón, para que logre alcanzar la resistencia a la penetración de 500 PSI.

- En el presente estudio investigativo se determinó el fraguado final de la mezcla con biocarbón y la mezcla patrón; la muestra patrón consiguió su fraguado final a las 13:30 horas, y las dosificaciones con biocarbón al 1%, 2% y 2.5% consiguieron sus fraguados iniciales a las 09:45 horas, 09:20 horas y 09:00 horas, respectivamente. En conclusión, la dosificación con

biocarbón del 2.5% puede reducirse hasta 04:29 horas con respecto a la muestra patrón, para que logre alcanzar la resistencia a la penetración de 4000 PSI.

- En conclusión, la resistencia a compresión del concreto con  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> fabricado con dosificaciones de biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento, y ensayadas a edades de 7, 14, 28 y 56 días, bajo condiciones de curado húmedo; a los 28 días la muestra patrón consiguió una resistencia a compresión de diseño del 101.68%, mientras que las dosificaciones con biocarbón que lograron superar a la muestra patrón fueron del 1% y 2%, llegando a 109.85% y 118.56%, respectivamente, a los 28 días. Además, a los 56 días el concreto seguía incrementando su resistencia; el concreto patrón obtuvo una resistencia a compresión de diseño del 116.74%, mientras que las dosificaciones con biocarbón que lograron superar a la muestra patrón fueron del 1% y 2%, llegando a 130.47% y 135.17%, respectivamente.

- En conclusión, la resistencia a compresión del concreto con  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> fabricado con dosificaciones de biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento, y ensayadas a edades de 14 y 28 días, bajo condiciones de curado al aire libre; a los 28 días la muestra patrón consiguió una resistencia a compresión de diseño del 86.18%, mientras que las dosificaciones con biocarbón que llegaron a superar a la muestra patrón fueron del 1% y 2%, llegando a 91.01% y 85.39%, respectivamente, a los 28 días. Sin embargo, no llegaron a la resistencia de diseño la cual fue de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. Es decir, el curado al aire libre mejora la resistencia a comparación de la muestra patrón, pero no supera a la resistencia requerida como lo hace el método de curado húmedo.

- En conclusión, la resistencia a flexión del concreto con  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> fabricado con dosificaciones de biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento, y ensayadas a edades de 7, 28 y 56 días, bajo condiciones de curado húmedo; a los 28 días se observó que al incrementar la dosificación de biocarbón a la mezcla se alcanzaron resultados menores de resistencia a flexión; se obtuvo un módulo de rotura para la muestra patrón de 39.95 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la dosificación que se acerca un poco es la del 2% de biocarbón, con un módulo de 37.02 kg/cm<sup>2</sup>. Lo mismo ocurre a los 56 días, la cual supera el concreto patrón, sin embargo, las dosificaciones que no difieren demasiado a la muestra patrón son las dosificaciones con biocarbón al 1% y 2%. Esto puede deberse al reemplazo de cemento que se realizó por biocarbón a la mezcla, esta acción puede haber cambiado la forma en que se distribuyó el tamaño de los poros en la matriz del concreto, lo que, a su vez, puede haber cambiado la flexibilidad del material. Los resultados del módulo de rotura del concreto bajo condiciones de curado al aire libre, no tuvo un impacto significativo en el desarrollo de la resistencia a flexión del concreto.

- En conclusión, el módulo de elasticidad del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> fabricado con dosificaciones de biocarbón de restos de madera al 1%, 2% y 2.5% del peso del cemento, y ensayado a los 28 días. Las dosificaciones que lograron superar al módulo de elasticidad de la muestra patrón fueron el biocarbón del 1% y 2%, con un  $E_c$  promedio de 223605.68 kg/cm<sup>2</sup> y 232191.35 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente; el  $E_c$  del concreto patrón es 218690.20 kg/cm<sup>2</sup>.

- La sustitución parcial de partículas de biocarbón por cemento ayudo a mejorar la energía de fractura del concreto. Dándonos resultados favorables; aumentando la energía de fractura en 9.35%, 14.95% y 4.67% con dosificaciones de biocarbón de 1%, 2% y 2.5%, respectivamente, con respecto a la muestra patrón.

- Tras analizar los precios unitarios, se puede concluir que la inclusión de biocarbón en la mezcla de concreto no genera reducciones de costos significativas en comparación con el concreto convencional. Al incorporar un 1% de biocarbón, se logra un ahorro de 0,11 nuevos soles por metro cúbico. Aumentando la dosis al 2%, el ahorro se incrementa a 0.20 nuevos soles por metro cúbico, y al emplear una dosis del 2.5% de biocarbón, el ahorro asciende a 0.28 nuevos soles por metro cúbico.

## Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un tipo de biocarbón que presente una composición química más alta y acorde a la composición química del cemento. Esto permitirá que el biocarbón tenga una adecuada hidratación y reaccione positivamente con los componentes del cemento; esto ayudara a evitar a evitar problemas de incompatibilidad y posibles reacciones no deseadas que pudieran afectar negativamente las propiedades del concreto.

- Se recomienda trabajar con una dosificación de biocarbón del 2% si se quiere obtener resistencias de estructuras que trabajen netamente a compresión, ya que ese porcentaje fue el más optimo.

- Se recomienda el uso de un aditivo superplastificante al trabajar con dosificaciones de biocarbón superiores al 5%. Esto se debe a que a medida que se aumenta la cantidad de biocarbón en la mezcla, la trabajabilidad del concreto se ve considerablemente afectada, dificultando su manipulación y colocación de manera adecuada.

- Se recomienda realizar pruebas con diferentes relaciones agua-cemento ( $a/c$ ) para evaluar si se produce un incremento en las propiedades del concreto al incorporar biocarbón. Debido a las propiedades absorbentes del biocarbón, se espera que pueda actuar como un agente de curado para el concreto a medida que transcurre el tiempo.

- Se recomienda realizar estudios de viabilidad que integren biocarbón en el concreto, con énfasis en ensayos de durabilidad. Estos ensayos permitirán evaluar exhaustivamente cómo la incorporación de biocarbón afecta la resistencia a factores ambientales, como la corrosión y la degradación, proporcionando información clave sobre su potencial para mejorar la longevidad del concreto en diversas aplicaciones constructivas.

## Referencias

- [1] “Informe de estado global de edificios y construcción de 2021 | PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction>
- [2] T. Barissov, “Application of Biochar as Beneficial Additive in Concrete,” 2021. [Online]. Available: <https://digitalcommons.unl.edu/civilengdiss/175>
- [3] N. Müller, J. Harnisch, and J.-P. Mesguen, “A report prepared for the WWF-Lafarge Conservation Partnership On behalf of: WWF International Gland Switzerland How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World”.
- [4] M. Turovaara, “The effect of high-ratio biochar replacement in concrete on performance properties-Experimental study of biochar addition to concrete mixture.”
- [5] D. L. Summerbell, C. Y. Barlow, and J. M. Cullen, “Potential reduction of carbon emissions by performance improvement: A cement industry case study,” *J Clean Prod*, vol. 135, pp. 1327–1339, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.06.155.
- [6] D. B. Müller *et al.*, “Carbon emissions of infrastructure development,” *Environ Sci Technol*, vol. 47, no. 20, pp. 11739–11746, Oct. 2013, doi: 10.1021/ES402618M/SUPPL\_FILE/ES402618M\_SI\_002.XLSX.
- [7] K. L. Scrivener, V. M. John, and E. M. Gartner, “Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry,” *Cem Concr Res*, vol. 114, pp. 2–26, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2018.03.015.
- [8] J. Lehmann, J. Gaunt, and M. Rondon, “Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review,” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 11, no. 2, pp. 403–427, Mar. 2006. doi: 10.1007/s11027-005-9006-5.
- [9] S. Jeffery, F. G. A. Verheijen, M. van der Velde, and A. C. Bastos, “A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis,” *Agric Ecosyst Environ*, vol. 144, no. 1, pp. 175–187, Nov. 2011, doi: 10.1016/J.AGEE.2011.08.015.
- [10] A. Mobili *et al.*, “Biochar and recycled carbon fibres as additions for low-resistive cement-based composites exposed to accelerated degradation,” *Constr Build Mater*, vol. 376, May 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131051.
- [11] F. Li *et al.*, “Bioresource Upgrade for Sustainable Energy, Environment, and Biomedicine,” *Nanomicro Lett*, vol. 15, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1007/S40820-022-00993-4.

- [12] M. Xu *et al.*, “From waste to wealth: Innovations in organic solid waste composting,” *Environ Res*, vol. 229, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.ENVRES.2023.115977.
- [13] M. Vochozka, A. Maroušková, J. Váchal, and J. Straková, “Biochar pricing hampers biochar farming”, doi: 10.1007/s10098-016-1113-3.
- [14] A. Akhtar and A. K. Sarmah, “Novel biochar-concrete composites: Manufacturing, characterization and evaluation of the mechanical properties,” *Science of The Total Environment*, vol. 616–617, pp. 408–416, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2017.10.319.
- [15] S. Gupta, H. W. Kua, and S. D. Pang, “Effect of biochar on mechanical and permeability properties of concrete exposed to elevated temperature,” *Constr Build Mater*, vol. 234, p. 117338, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.117338.
- [16] K. G. Roberts, B. A. Gloy, S. Joseph, N. R. Scott, and J. Lehmann, “Life cycle assessment of biochar systems: Estimating the energetic, economic, and climate change potential,” *Environ Sci Technol*, vol. 44, no. 2, pp. 827–833, Jan. 2010, doi: 10.1021/ES902266R/SUPPL\_FILE/ES902266R\_SI\_002.XLS.
- [17] D. Woolf, J. E. Amonette, F. A. Street-Perrott, J. Lehmann, and S. Joseph, “Sustainable biochar to mitigate global climate change,” *Nature Communications 2010 1:1*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Aug. 2010, doi: 10.1038/ncomms1053.
- [18] T. Barissov, “Application of Biochar as Beneficial Additive in Concrete,” 2021. [Online]. Available: <https://digitalcommons.unl.edu/civilengdiss/175>
- [19] S. Gupta and H. W. Kua, “Effect of water entrainment by pre-soaked biochar particles on strength and permeability of cement mortar,” *Constr Build Mater*, vol. 159, pp. 107–125, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.095.
- [20] A. Sirico *et al.*, “Biochar-based cement pastes and mortars with enhanced mechanical properties,” *Frattura ed Integrità Strutturale*, vol. 14, no. 54, pp. 297–316, Oct. 2020, doi: 10.3221/IGF-ESIS.54.21.
- [21] R. Roychand *et al.*, “Carbon sequestration from waste and carbon dioxide mineralisation in concrete – A stronger, sustainable and eco-friendly solution to support circular economy,” *Constr Build Mater*, vol. 379, May 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131221.
- [22] J. A. Diaz Garcia, “Propiedades del concreto  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$  en estado fresco al adicionarle biocarbon de aserrín en 5%, 7.5% y 10%, Chimbote – 2019,” *Repositorio Institucional - UCV*, 2019, Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51731>

- [23] M. Joel, "Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies Use of Crushed Granite Fine as Replacement to River Sand in Concrete Production", Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <http://lejpt.academicdirect.org><http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/85>
- [24] J. Lehmann and S. Joseph, "Biochar for environmental management: Science and technology," *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, pp. 1–416, Jan. 2012, doi: 10.4324/9781849770552.
- [25] A. V. Bridgwater, "Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading," *Biomass Bioenergy*, vol. 38, pp. 68–94, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2011.01.048.
- [26] "Propiedades Físicas del Biocarbón | 9 | Biocarbón para la Gestión Ambiental." Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781849770552-9/physical-properties-biochar-adriana-downie-alan-crosky-paul-munroe>
- [27] A. Dixit, S. Gupta, S. D. Pang, and H. W. Kua, "Waste Valorisation using biochar for cement replacement and internal curing in ultra-high performance concrete," *J Clean Prod*, vol. 238, p. 117876, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.117876.
- [28] S. Gupta and H. W. Kua, "Effect of water entrainment by pre-soaked biochar particles on strength and permeability of cement mortar," *Constr Build Mater*, vol. 159, pp. 107–125, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.095.
- [29] S. Gupta, H. W. Kua, and S. Y. Tan Cynthia, "Use of biochar-coated polypropylene fibers for carbon sequestration and physical improvement of mortar," *Cem Concr Compos*, vol. 83, pp. 171–187, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2017.07.012.
- [30] Y. Qin, X. Pang, K. Tan, and T. Bao, "Evaluation of pervious concrete performance with pulverized biochar as cement replacement," *Cem Concr Compos*, vol. 119, p. 104022, May 2021, doi: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2021.104022.
- [31] "NTP 400.012 'AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.'" May 2013.
- [32] S. S. # # " "-P. " "-P. S.-S.-É. Ée, "NTP 400.037: AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos." [Online]. Available: [www.inacal.gob.pe](http://www.inacal.gob.pe)
- [33] "NTP 339.185 'AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.'" May 2013.
- [34] "NTP 400.017 'AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados.'" May 2011.

- [35] “NTP 400.021 ‘AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado grueso.” May 2013. [Online]. Available: [www.inacal.gob.pe](http://www.inacal.gob.pe)
- [36] “NTP 400.022 ‘AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.
- [37] “NTP 339.035 ‘HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.” May 2009.
- [38] “NTP 339.046 "HORMIGON (CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)”.
- [39] “NTP 339.077: ‘CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto.” Accessed: May 17, 2023. [Online]. Available: <https://pdfcoffee.com/3390772013exudacion-2-pdf-free.html>
- [40] “NTP 339.082 ‘CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.” May 2011.
- [41] “NTP 339.183 ‘CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”.
- [42] “NTP 339.034 ‘CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.” May 2015.
- [43] “NTP 339.078 ‘CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.” May 2012.
- [44] “C1579 Método de prueba estándar para evaluar el agrietamiento por contracción plástica del concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de forma de acero).” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.astm.org/c1579-21.html>
- [45] “NTP 334.005 ‘CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland”.
- [46] “ASTM C 469: Concreto. Método Estándar de Ensayo para módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión.” 1995.
- [47] “C618 Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.astm.org/c0618-12.html>

- [48] A. Sirico *et al.*, “Biochar from wood waste as additive for structural concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 303, p. 124500, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124500.
- [49] “Posibilidades del concreto.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.imcyc.com/revistacyt/jul11/artposibilidades.html>
- [50] Y. Jia, H. Li, X. He, P. Li, and Z. Wang, “Effect of biochar from municipal solid waste on mechanical and freeze–thaw properties of concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 368, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130374.
- [51] S. Gupta, H. W. Kua, and C. Y. Low, “Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar,” *Cem Concr Compos*, vol. 87, pp. 110–129, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.12.009.
- [52] D. Ali *et al.*, “Thermo-physical properties and microstructural behaviour of biochar-incorporated cementitious material,” *Journal of Building Engineering*, vol. 64, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.job.2022.105695.
- [53] S. Gupta, W. Kua, and S. Dai Pang, “BIOCHAR-CONCRETE COMPOSITE: MANUFACTURING, CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE EVALUATION AT ELEVATED TEMPERATURE.”
- [54] H. Maljaee, H. Paiva, R. Madadi, L. A. C. Tarelho, M. Morais, and V. M. Ferreira, “Effect of cement partial substitution by waste-based biochar in mortars properties,” *Constr Build Mater*, vol. 301, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124074.
- [55] A. Sirico *et al.*, “Biochar-based cement pastes and mortars with enhanced mechanical properties,” *Frattura ed Integrita Strutturale*, vol. 14, no. 54, pp. 297–316, Oct. 2020, doi: 10.3221/IGF-ESIS.54.21.
- [56] A. N. Beskopylny *et al.*, “High-Performance Concrete Nanomodified with Recycled Rice Straw Biochar,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, Jun. 2022, doi: 10.3390/app12115480.
- [57] A. V. Alfaro, R. Vega, R. Código, A. Juan, C. Yacono, and L. Lima -Perú, “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOCHAR,” 2014.
- [58] “CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ”.
- [59] “Ley del SEIA Modificatoria de la Ley del SEIA Reglamento de la Ley del SEIA Resoluciones Ministeriales”.
- [60] S. De Partida, “MUNICIPALIDAD DE MAGDALENA DEL MAR, LIMA, PERÚ: MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.”

- [61] “FERREÑAFE.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <http://ferrenafesican.blogspot.com/2011/08/1-vision-sintetica-de-ferrenafe.html>
- [62] “El clima en Chiclayo, el tiempo por mes, temperatura promedio (Perú) - Weather Spark.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/19294/Clima-promedio-en-Chiclayo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [63] “Chiclayo | Mi Ciudad Mi Ciudad.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.miciudad.pe/ciudad/chiclayo/>
- [64] “Norma Técnica Peruana de Colores NTP 900.058.2019 | Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos.” Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/norma-tecnica-peruana-de-colores-ntp-900-058-2019/>

## **Anexos**

### **Evaluación de Impacto Ambiental**

#### **Resumen ejecutivo**

En esta investigación, se realiza una evaluación de impacto ambiental aplicado al proyecto de desarrollo titulado “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f’c 210 kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo”. Este proyecto tiene como área de influencia la ciudad de Chiclayo y ha despertado gran interés debido al estudio del uso del biocarbón, el cual se encuentra involucrado en el proyecto.

El propósito de este análisis es describir y examinar detalladamente el proyecto, con el objetivo de establecer la línea de base ambiental. A partir de esta referencia, se generan recomendaciones sobre las medidas preventivas y de mitigación necesarias para contrarrestar los posibles efectos adversos derivados del uso del biocarbón.

#### **Objetivos**

##### ***Objetivo general***

- Definir los impactos ambientales del proyecto “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f’c 210 kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo”, con la intención de establecer medidas de prevención adecuadas que permitan mitigar los efectos negativos que podrían causar el proyecto.

##### ***Objetivos específicos***

- Delimitar el área de influencia directa e indirecta del proyecto.
- Determinar la línea de base ambiental del proyecto.
- Evaluar los impactos ambientales que se producirán en las diferentes etapas del proyecto.
- Realizar un Plan de Manejo Ambiental.

## **Alcances**

La presente evaluación de impacto ambiental permitirá otorgar valiosos beneficios, uno de ellos proporcionar información a las empresas que producen Biocarbón mediante los diferentes tipos de pirólisis que existen, con el objetivo de prevenir y tomar las medidas más adecuadas para reducir los impactos negativos al medio ambiente que estén asociados con la producción del biocarbón. El otro beneficio de esta evaluación está dirigido a la comunidad que utiliza concreto con biocarbón en sus proyectos de construcción. A través de esta evaluación, se seguirán pautas y recomendaciones claras sobre las mejores prácticas para el uso responsable y la aplicación del concreto con biocarbón. Esto implica educar a los usuarios acerca de las proporciones adecuadas de biocarbón a utilizar, las técnicas de mezcla apropiadas y las precauciones necesarias para minimizar cualquier impacto negativo en el entorno. Además, se busca crear conciencia sobre la importancia de utilizar el concreto con biocarbón de manera selectiva y estratégica, considerando alternativas más sostenibles cuando sea factible.

Es relevante resaltar que esta evaluación de impacto ambiental también abarcará una variedad de enfoques y metodologías de gestión de proyectos que pueden mejorar la planificación en proyectos de construcción civil que utilizan concreto con biocarbón. Esto contribuirá a prevenir contratiempos y asegurar una implementación efectiva del material, maximizando de esta manera sus beneficios ambientales.

## **Marco legal**

### ***Constitución Política del Perú***

La persona es considerada como el valor más importante de la sociedad y del Estado, teniendo el derecho fundamental de vivir en un entorno que proporciona las condiciones óptimas para su desarrollo. En este sentido, la Constitución Política del Perú, en su artículo 2, inciso 22, garantiza a las personas el derecho a disfrutar de un ambiente equilibrado y adecuado para su vida, de acuerdo con los compromisos internacionales asumidos por el Estado. Además, el artículo 67 de la Constitución establece que el Estado define la Política Nacional del Ambiente y promueve la utilización sostenible de los recursos naturales [58].

***Ley N° 28611, Ley general del ambiente***

Esta Ley es el cimiento sobre el cual se construye el marco normativo para la gestión ambiental en el Perú. Su función principal es establecer los principios y normas fundamentales para garantizar el pleno ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y propicio para el desarrollo humano. Asimismo, impone la responsabilidad de contribuir activamente a una gestión ambiental eficaz y proteger el entorno, con el fin último de mejorar la calidad de vida de la población y alcanzar un desarrollo sostenible en el país.

***Ley N° 27446, Ley del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental (23.04.2001)***  
[59]

El Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) se encarga de garantizar que las actividades, proyectos o planes que puedan generar impactos significativos en el ambiente sean evaluados de manera previa, con el fin de prevenir, minimizar y compensar los posibles efectos negativos en el medio ambiente y la salud de las personas.

***Ley N° 26842, Ley general de la salud***

La ley establece en uno de sus artículos que ninguna persona, ya sea natural o jurídica, puede verter desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo sin haber tomado las medidas necesarias de tratamiento, de acuerdo con las normas sanitarias y de protección ambiental.

***Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire, Decreto Supremo N° 074-2001-PCM (22.06.2001).***

Estos estándares de Calidad Ambiental del aire son una herramienta esencial en la gestión ambiental que tiene como objetivo principal prevenir y regular el control de la contaminación atmosférica. Estos estándares se basan en una estrategia diseñada para salvar la salud de las personas, fomentar la competitividad del país y promover un desarrollo sostenible.

***Normas Técnicas Peruanas***

Las normas consideradas en el estudio se han utilizado para realizar las pruebas de los agregados fino y grueso, así mismo del concreto en estado fresco y estado endurecido.

### Descripción y análisis del proyecto

En esta sección, se realiza una exposición detallada del análisis llevado a cabo sobre el proyecto y su repercusión en el entorno ambiental. Se proporciona una descripción de los resultados obtenidos en el estudio, así como de los efectos ambientales que se derivan de la implementación y desarrollo de dicho proyecto.

#### *Equipo interdisciplinario*

*Tabla 82: Equipo interdisciplinario para la elaboración de la EIA*

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Colegiatura</b>	<b>Participación o responsabilidad</b>	<b>Firma</b>
José Alberto Acero Martínez	C.I.P. N°	Asesor	
José Giancarlo Salvador Terrones	-	Proyectista	

*Fuente: Elaboración propia*

#### *Entidad autorizada para realizar el estudio de impacto ambiental*

*Tabla 83: Entidad encargada de elaborar la EIA*

Razón Social	N° 10738254967
Representante Legal	José Giancarlo Salvador Terrones
Domicilio	Francisco de Zela N° 139 – Simón Bolívar
Teléfono	+51 965920959
Correo Electrónico	<a href="mailto:jsalvadorterrones@gmail.com">jsalvadorterrones@gmail.com</a>

Fuente: Elaboración propia

#### **Fases del proyecto**

El presente proyecto denominado “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f’c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo” ha progresado en distintas etapas, y esas son:

#### *Fase de ubicación de punto de recolección*

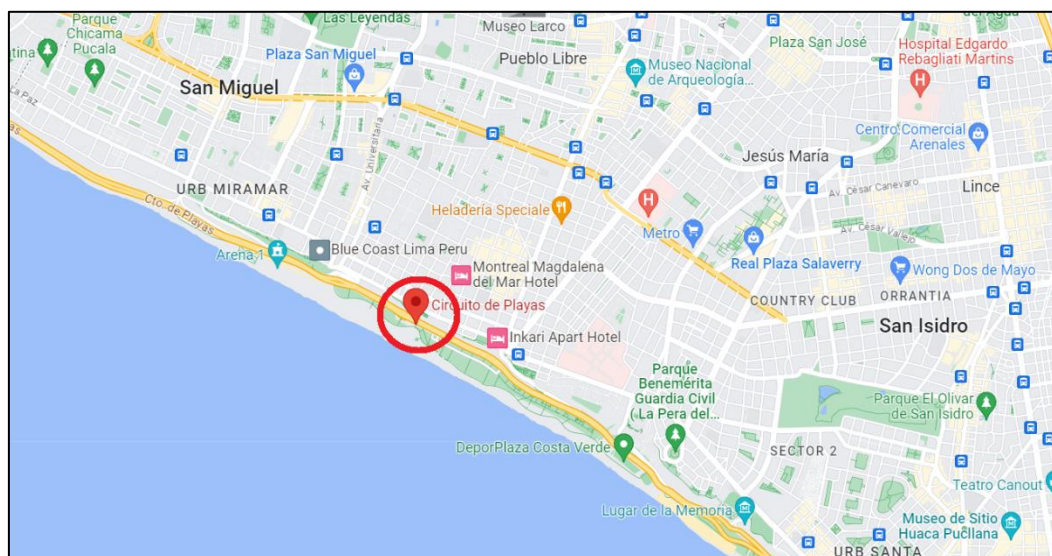
En esta investigación se utilizó el biocarbón para mejorar las propiedades del concreto. Este material se recolectó de la planta de compostaje de valorización de residuos sólidos orgánicos perteneciente a la Municipalidad Magdalena del Mar, esta planta está ubicada en el Circuito de Playas, Magdalena del Mar, Lima.

Figura 66: Plano de ubicación y límites del distrito de Magdalena



Fuente: [60]

Figura 67: Ubicación de planta de Compostaje de Municipalidad Magdalena del Mar



Fuente: Google Maps

### ***Fase de aplicación y producción del concreto con biocarbón***

En esta fase, se llevó a cabo la trituración del biocarbón, convirtiéndolo en partículas de tamaño muy reducido. También, se obtuvo el biocarbón en diferentes proporciones, específicamente en porcentajes del 1%, 2% y 2.5% en peso, para la fabricación de concreto con una resistencia de diseño  $f'c$  de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . La zona donde se realizó la aplicación y producción de este proceso se encuentra en la ciudad de Chiclayo, provincia de Chiclayo, ubicada en el departamento de Lambayeque.

Figura 68: Departamento de Lambayeque



Fuente: [61]



Fuente: Google Earth Pro

## Área de influencia del proyecto

Antes de llevar a cabo el diagnóstico ambiental, es crucial establecer el área de influencia ambiental del proyecto. La extensión geográfica de los posibles impactos ambientales depende tanto de las particularidades del proyecto en sí como de las características de los elementos ambientales presentes en la ubicación propuesta.

Es relevante destacar que el área de influencia directa abarca aquellas zonas que podrían experimentar modificaciones en su entorno físico, biológico y socioeconómico como resultado del proyecto. Por otro lado, el área de influencia indirecta se refiere a aquellas áreas donde los impactos se manifestarán de manera secundaria.

### *Área de influencia directa*

En este caso el área de influencia directa corresponde al laboratorio de Ingeniería civil de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ya que en esa zona se ha realizado todo el proceso de producción del concreto con biocarbón.

*Figura 69: Área de influencia directa*



*Fuente: Google Earth Pro*

### *Área de influencia indirecta*

Como área de influencia indirecta se ha considerado a los alrededores del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, este abarca un espacio más amplio, incluso las zonas externas a la universidad.

Figura 70: Área de influencia indirecta



Fuente: Google Earth Pro

## Línea Base Ambiental

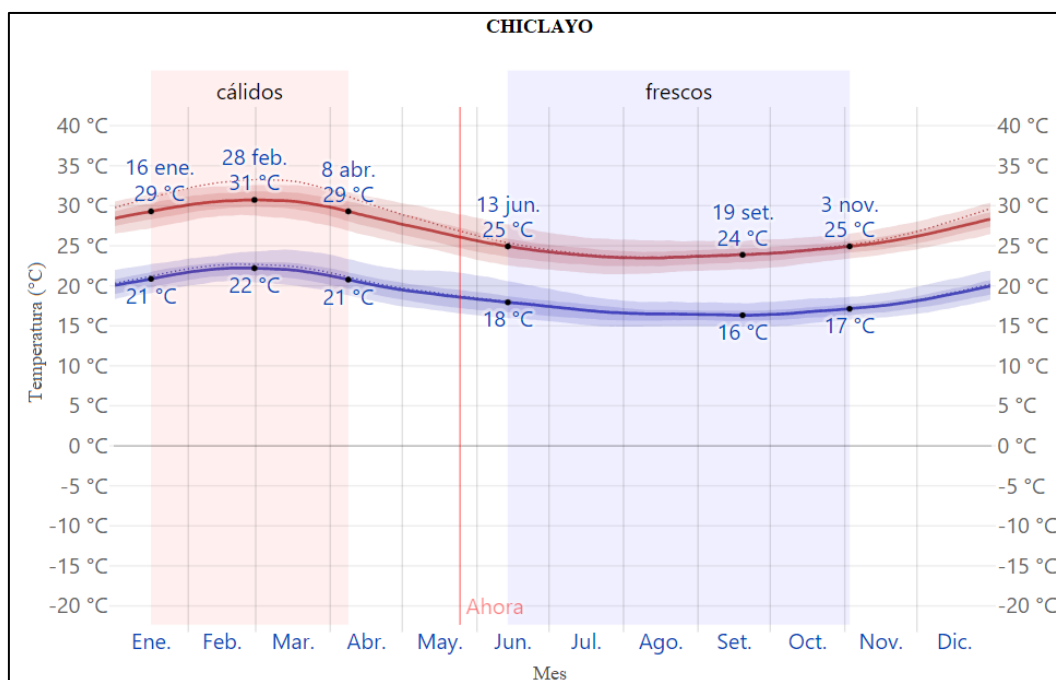
### Línea de base física

#### - Clima

En el siguiente gráfico se representa la variación de las temperaturas máximas y mínimas promedio en la ciudad de Chiclayo. Podemos observar que la temporada de calor se extiende por aproximadamente 2,7 meses, desde el 16 de enero hasta el 8 de abril, con temperaturas máximas diarias superiores a los 29 °C. El mes más cálido en Chiclayo es febrero, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y mínima de 22 °C.

Por otro lado, la temporada fresca abarca alrededor de 4.7 meses, desde el 13 de junio hasta el 3 de noviembre, con temperaturas máximas diarias inferiores a los 25 °C. El mes más frío en Chiclayo es agosto, con una temperatura mínima promedio de 16 °C y máxima de 24 °C.

Gráfico 33: Temperatura máxima y mínima en Chiclayo



Fuente: [62]

Tabla 84: Cuadro de temperaturas

Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	29 °C	31 °C	30 °C	29 °C	27 °C	25 °C	24 °C	24 °C	24 °C	24 °C	25 °C	27 °C
Temp.	24 °C	25 °C	25 °C	24 °C	22 °C	21 °C	20 °C	19 °C	19 °C	20 °C	21 °C	22 °C
Mínima	21 °C	22 °C	22 °C	20 °C	19 °C	18 °C	17 °C	16 °C	16 °C	17 °C	18 °C	19 °C

Fuente: [62]

#### - Calidad del aire

En la ciudad de Chiclayo, la calidad del aire presenta una preocupante situación de contaminación atmosférica. El aire se ve afectado por diversas emisiones de gases provenientes de diversas fuentes, siendo el parque automotor responsable de aproximadamente el 70% de esta contaminación. Además, es importante destacar la quema de residuos que se producen en las áreas donde no se realiza la recolección adecuada de basura. Esta situación se agrava con actividades industriales no reguladas, como el uso de calderas industriales y la presencia de depósito, entre otros factores, lo que contribuye al incremento general de los niveles de contaminación.

- Topografía

Relieve: El terreno de Chiclayo se distingue por ser mayormente plano y poco accidentado. En el área de estudio o influencia, que se encuentra en el centro de la ciudad de Chiclayo, se llevará a cabo la elaboración de los especímenes de concreto tanto en ambientes existentes, como en el laboratorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, así como en lugares al aire libre con características similares.

Extensión Territorial: La ciudad está conformada por cinco distritos y, hasta el año 2018, cubre un área total de 4 730 hectáreas. Cada año se suman 30,25 hectáreas adicionales de suelo urbano a su extensión. Se encuentra ubicada en la costa norte de Perú, a una altitud de 27 metros sobre el nivel del mar, en una zona caracterizada por el bioma de Desierto Desechado - Premontano Tropical, cerca al río Chancay [63].

- Suelos

En la ciudad de Chiclayo, el suelo varía en características según la zona en particular. En términos generales, debido a su ubicación en una región costera, los suelos predominantes en Chiclayo son arenosos y arenosos limosos. Estos suelos se forman principalmente por el depósito de sedimentos arrastrados por ríos y corrientes de agua, lo que les confiere un origen aluvial.

### ***Línea de base biológica***

El objetivo del estudio de la flora y fauna es analizar la condición actual de la vegetación y vida animal en un ecosistema, así como identificar los problemas ambientales que evolucionan a este medio biológico. La metodología utilizada se basó en la recopilación de datos en el terreno, incluida la realización de un inventario de especies vegetales y estimaciones directas e indirectas de la presencia de animales.

- Flora

La flora que se observa en la zona de estudio presenta varios árboles de algarrobo y varias palmeras, las cuales se analizarán si se verán afectados indirectamente por la ejecución del proyecto.

- Fauna

Se puede considerar la presencia de animales domésticos como perros y gatos, así como también presencia de aves e insectos encontrados en los árboles. Sin embargo,

este proyecto no afectara directamente a la fauna que se encuentre relativamente cerca de la zona del proyecto.

### ***Línea base socioeconómica***

Según estimaciones del año 2019, se estima que el área metropolitana de Chiclayo tiene una población de aproximadamente 716,732 habitantes. El distrito de Chiclayo concentra alrededor del 36,9% de la población, con alrededor de 264.475 habitantes, mientras que La Victoria representa el 11,2% y José Leonardo Ortiz el 25,4%.

De acuerdo con la Municipalidad Provincial de Chiclayo, se proyecta que la población del distrito de Chiclayo alcance aproximadamente 287,180 habitantes para el año 2024, lo que representa el 33.7% de la población total.

### **Identificación y evaluación de impactos ambientales**

Para realizar un estudio de impacto ambiental adecuado del proyecto “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f’c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo”, es esencial identificar y analizar los impactos ambientales resultantes de la producción de biocarbón y del concreto con biocarbón. Estos impactos pueden afectar diversos componentes ambientales del ecosistema local. El objetivo principal es establecer medidas preventivas o de mitigación en el marco del correspondiente Plan de Manejo Ambiental. Para llevar a cabo este análisis, se empleará la matriz de Leopold.

### ***Matriz de Leopold***

Este enfoque implica utilizar una matriz de doble entrada, donde las filas representan los factores ambientales, y las columnas corresponden a las acciones que se llevarán a cabo a lo largo del proyecto y que podrían generar posibles impactos.

Para determinar las interacciones, se consideraron los siguientes aspectos:

- ***Clase:*** Permite especificar la naturaleza de las consecuencias resultantes de dicho impacto, asignando un signo positivo (+) si las actividades son beneficiosas y un signo negativo (-) si son perjudiciales.
  - o Positivo: Se trata de un efecto que promueve o fortalece las cualidades que sustentan la existencia de los elementos del entorno considerados en el análisis. Contribuye a crear condiciones que favorecen un mejor aprovechamiento de los

recursos naturales y sociales disponibles. En otras palabras, impulsa el desarrollo de condiciones favorables para el uso adecuado de los recursos.

- Negativo: Se trata de una situación que afecta negativamente la preservación y el acceso adecuado a los recursos naturales y culturales.
- **Magnitud (M):** Se refiere al nivel o grado de cambio que experimenta el factor ambiental como resultado de una acción relacionada con el proyecto.
- **Importancia (I):** Se determina la importancia relativa que tiene el factor ambiental en el contexto del ambiente que puede ser impactado por el proyecto.

El proceso para realizar la Matriz de Leopold es el siguiente:

- Identificar las tareas o actividades que se llevarán a cabo durante el proyecto y luego colocarlas en las columnas de la matriz.
- Identificar todos los componentes y factores ambientales que pueden sufrir impactos debido a las acciones del proyecto y ubicarlos en las filas de la matriz.
- Asignar un "SI" de color rojo cuando se trata de un impacto negativo, un "NO" de color blanco cuando no existe impacto, y un "SI" de color verde cuando se trata de un impacto positivo.
- Se asigna un número del 1 al 10 en la parte superior izquierda de cada casilla para representar la magnitud del posible impacto. Si el impacto es positivo, se coloca un signo "+" antes del número, mientras que si es negativo se coloca un signo "-".
- se coloca un número del 1 al 10 en la parte inferior izquierda de cada casilla para indicar la importancia del posible impacto que se producirá. Este número refleja la relevancia o significancia del impacto dentro del contexto del proyecto.
- Después de completar todas las casillas, se procede a sumar los valores positivos y negativos por filas y columnas respectivamente. Esto implica calcular la suma total de los impactos positivos y negativos en cada fila y columna de la matriz.
- Finalmente, se realiza una descripción detallada del significado de las interrelaciones y efectos identificados en la matriz. Se analiza y se explica el impacto de cada acción del proyecto en los componentes y factores ambientales, considerando su magnitud e importancia. Esto permite comprender y comunicar de manera clara y precisa las consecuencias ambientales resultantes de las acciones propuestas en el proyecto.

Tabla 85: Identificación de Impactos Ambientales

<b>IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES</b> <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr><th colspan="2">LEYENDA</th></tr> <tr><td style="background-color: #e0e0e0;"> </td><td>No hay impacto</td></tr> <tr><td style="background-color: #ffe0e0;"> </td><td>Impacto Negativo</td></tr> <tr><td style="background-color: #e0ffe0;"> </td><td>Impacto Positivo</td></tr> </table>		LEYENDA			No hay impacto		Impacto Negativo		Impacto Positivo	ACCIONES																			
		LEYENDA																											
			No hay impacto																										
			Impacto Negativo																										
			Impacto Positivo																										
FASE DE PRODUCCIÓN DEL BIOCARBÓN							FASE DE LABORATORIO																						
BIOCARBÓN							MATERIALES			CONCRETO																			
Recolección de madera Secado de madera Pirolicación de la madera Enfriamiento y recuperación del Biocarbón Trituración y tamizado de Biocarbón							Obtención de los agregados Almacenamiento de los agregados Ensayo de los agregados grueso y fino			ESTADO FRESCO						ESTADO ENDURECIDO													
										Ensayo de asentamiento			Ensayo de exudación			Ensayo de peso unitario de la mezcla			Ensayo de tiempo de fraguado			Elaboración de muestras de concreto			Curado de concreto			Ensayo de resistencia a la compresión	
FACTORES AMBIENTALES	MEDIO ATMOSFÉRICO	AIRE																											
		EMISIÓN DE GASES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO									
		PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN	-SI	-SI	NO	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	NO	-SI	-SI	NO	-SI								
	NIVEL DE RUIDO	-SI	NO	-SI	NO	NO	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	NO	-SI	-SI	NO	-SI									
	MEDIO HÍDRICO	AGUA																											
		USO DE AGUA POTABLE	NO	NO	NO	-SI	NO	NO	NO	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	-SI	NO	NO	-SI	NO									
	MEDIO ENTORNO	SUELO																											
		MOFOLOGÍA DEL SUELO	NO	NO	NO	NO	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO									
		ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	-SI	NO	NO	-SI	NO	-SI	-SI	NO	-SI	-SI	-SI	-SI									
		CALIDAD DEL SUELO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-SI	-SI	NO	NO	NO	NO	NO									
		FLORA																											
		ÁRBOLES	+SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO								
		ARBUSTOS	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO								
		FAUNA																											
		AVES	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO								
		INSECTOS	-SI	NO	-SI	NO	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO								
	ANIMALES TERESTRES	NO	NO	NO	NO	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO									
	MEDIO PERCEPTUAL	CALIDAD VISUAL																											
		PAISAJE URBANO	+SI	-SI	NO	NO	NO	-SI	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO								
	MEDIO SOCIOECONÓMICO	FACTOR SOCIOECONÓMICO																											
EMPLEO		+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI	+SI									
ACTIVIDADES COMERCIALES		NO	NO	NO	+SI	+SI	+SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO									
MEDIO SOCIAL	FACTOR HUMANO																												
	SEGURIDAD Y SALUD	+SI	NO	+SI	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	+SI	NO	NO	NO	NO	NO									
CALIDAD DE VIDA	+SI	NO	+SI	NO	-SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	+SI	NO	NO	NO	NO	NO										

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86: Matriz de Leopold

MAGNITUD  IMPORTANCIA		ACCIONES																	SUMA		
		FASE DE PRODUCCIÓN DEL BIOCARBÓN					FASE DE LABORATORIO												MAGNITUD (+/-)	IMPORTANCIA	PROMEDIO
		BIOCARBÓN					MATERIALES			CONCRETO											
		Recolección de madera	Secado de madera	Pilólisis de la madera	Enfriamiento y recuperación del Biocarbón	Trituración y tamizado de Biocarbón	Obtención de los agregados	Almacenamiento de los agregados	Ensayo de los agregados fino y grueso	Ensayo de asentamiento	Ensayo de exudación	Ensayo de peso unitario de la mezcla	Ensayo de tiempo de fraguado	Elaboración de concreto	Curado de concreto	Ensayo de resistencia a la compresión	Ensayo de resistencia a la flexión	Ensayo de fisuración			
FACTORES AMBIENTALES	MEDIO ATMOSFÉRICO	AIRE																			
	EMISIÓN DE GASES	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0
	PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN	-1	1	-1	-1	-4	-2	-1	-4	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-29	28	-79
	NIVEL DE RUIDO	-1	1	-1	1	5	-2	2	-3	5	-2	-1	-1	-2	3	-2	-4	3	-20	18	-33
	MEDIO HÍDRICO	AGUA																			
	USO DE AGUA POTABLE	/	/	/	-2	1	/	/	-3	-2	-2	-2	-2	1	-4	5	/	-2	-19	16	-44
	MEDIO TERRESTRIAL	SUELO																			
	MOFOLOGÍA DEL SUELO	/	/	/	/	/	-4	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-4	3	-12
	ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	/	-3	3	/	/	/	2	2	/	-3	3	-3	-9	9	-8	-8	-7	-47	49	-330
	CALIDAD DEL SUELO	/	/	/	/	/	/	2	2	/	/	-3	3	-3	10	8	8	6	-13	13	-109
	MEDIO BIOLÓGICO	FLORA																			
	ÁRBOLES	4	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4	4	16
	ARBUSTOS	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0
	MEDIO BIOLÓGICO	FAUNA																			
	AVES	-2	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-2	3	-6
	INSECTOS	-1	2	-1	1	/	-2	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-4	4	-5
	ANIMALES TERESTRES	/	/	/	/	/	-2	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-2	1	-2
	MEDIO PERCEPTUAL	CALIDAD VISUAL																			
	PAISAJE URBANO	3	-1	1	/	/	-2	-2	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-2	7	2
	MEDIO SOCIOECONÓMICO	FACTOR SOCIOECONÓMICO																			
EMPLEO	2	1	2	2	1	3	1	2	2	2	2	1	3	4	1	2	2	34	44	91	
ACTIVIDADES COMERCIALES	/	3	2	3	3	3	3	1	2	3	2	1	3	3	3	2	3	9	10	30	
MEDIO SOCIAL	FACTOR HUMANO																				
SEGURIDAD Y SALUD	2	2	3	4	-3	3	/	/	/	/	/	/	3	2	/	/	/	5	11	13	
CALIDAD DE VIDA	3	2	3	4	-2	2	/	/	/	/	/	3	2	/	/	/	/	7	10	20	
MAGNITUD (+/-)	9	-2	6	2	-5	-8	2	-8	-4	-6	-4	-8	-14	-3	-10	-12	-8	-10	13		
PROMEDIO	31	-9	32	13	-23	-8	4	-28	-4	-12	-4	-14	-172	-18	-64	-72	-44	-56	-448		

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar los posibles efectos ambientales derivados del estudio del proyecto, fue necesario inicialmente definir todas las actividades involucradas en el mismo e identificar aquellas de mayor importancia. Asimismo, se identificaron los factores ambientales que podrían verse afectados por estas actividades, utilizando la "Matriz de Identificación de Impactos". Para evaluar el impacto de estas acciones en los diferentes componentes ambientales, se obtuvo la "Matriz de Leopold". En este análisis se demostró que la acción más impactante fue la elaboración de concreto (impacto negativo). No obstante, también se identificaron impactos favorables, como es el caso de la pirólisis de la madera, que tuvo un impacto positivo en el medio ambiente.

También se identificó el *componente ambiental más frágil*, como la acumulación de residuos sólidos en el factor ambiental suelo, seguido del componente calidad del suelo del mismo factor ambiental suelo, y en tercer lugar el componente partículas en suspensión con su factor ambiental aire. También se determinó un componente ambiental positivo, la cual es la generación de empleo en el factor socio económico. La *acción más agresiva*, a lo largo del desarrollo del proyecto, es la elaboración de concreto, en segundo lugar, está el ensayo de resistencia a flexión y finalmente el ensayo de resistencia a compresión las cuales también ocasionarán un cambio en la calidad de suelo. Se consideraron 18 acciones a analizar sobre 8 factores ambientales, dentro de los cuales se encuentran los componentes ambientales.

*Tabla 87: Componente más frágil*

<b>Factor Ambiental</b>	<b>Componente más frágil</b>	<b>Promedio</b>
Suelo	Acumulación de residuos sólidos	-330
	Calidad del suelo	-109
Aire	Partículas en suspensión	-79

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 88: Acción más agresiva*

<b>Acción o actividad más agresiva</b>	<b>Promedio</b>
Elaboración de concreto	-172
Ensayo de resistencia a flexión	-72
Ensayo de resistencia a compresión	-64

*Fuente: Elaboración Propia*

## Plan de manejo ambiental

El plan de manejo ambiental que se ha desarrollado en esta investigación incluye un conjunto de acciones diseñadas para prevenir, compensar o reducir los impactos ambientales negativos derivados de la actividad principal del estudio, que es la aplicación del biocarbón.

### Programa de medidas preventivas, mitigadoras y correctivas

#### - *Subprograma de manejo de residuos sólidos, líquidos y efluentes*

Según la Ley General de Residuos Sólidos N°27314, que ha sido actualizada por el decreto legislativo N°1278, los residuos sólidos se dividen en dos categorías en función de su manejo: peligrosos y no peligrosos. Además, se clasifican como residuos municipales y no municipales, dependiendo de la autoridad responsable de su gestión.

*Tabla 89: Principales residuos generados en el proyecto*

Residuos sólidos		Área o actividad generadora
Residuos No Peligrosos	Concreto simple	Ensayos de laboratorio
	Mortero	
	Biocarbón	
	Otros residuos	
	Ramas de arboles	Almacén de madera
	Troncos de arboles	
	Bolsas de cemento	Otros residuos
Residuos Peligrosos	Trapo contaminado con aceite y/o grasa, Aceite quemado,	Realización de ensayos

*Fuente: Elaboración Propia*

#### *Medidas de segregación de residuos sólidos:*

La segregación implica seleccionar o separar un tipo específico de residuo, teniendo en cuenta sus características físicas, químicas y biológicas. Separar los componentes de los residuos sólidos en el lugar donde se generan es una manera efectiva de implementar técnicas de reutilización. Es importante que el personal sea consciente de la importancia de esta etapa, ya que, además de clasificar los residuos, se reducirán los riesgos

asociados a aquellos que pueden ser peligrosos. Para lograrlo, es necesario capacitar al personal adecuadamente.

*Sistemas de almacenamiento:*

En los laboratorios es necesario contar con recipientes adecuados para la disposición de residuos orgánicos e inorgánicos. Estos recipientes deben ser vaciados diariamente en contenedores destinados para su disposición final.

Según la NTP 900.058 [64], La Norma Técnica Peruana establece los colores a utilizar para el almacenamiento adecuado de residuos sólidos en los alcances de gestión municipal y no municipal. Estos colores deben ser empleados en los recipientes destinados al almacenamiento de los residuos sólidos, así como en las etiquetas que los identifiquen.

En el ámbito municipal, los colores utilizados son los siguientes: verde para los residuos aprovechables, negro para los no aprovechables, marrón para los residuos orgánicos y rojo para los residuos peligrosos. En el ámbito no municipal, se utilizarán los siguientes colores: azul para los residuos de papel y cartón, blanco para los residuos de plástico, amarillo para los residuos de metal, marrón para los residuos orgánicos, plomo para los residuos de vidrio, rojo para los residuos peligrosos y negro para los no aprovechables.

*Figura 71: Colores de los dispositivos de almacenamiento*



Fuente: Google imágenes

*Manejo de residuos líquidos y efluentes:*

Los aceites y lubricantes usados, así como los residuos de limpieza y mantenimiento, y otros residuos químicos deben ser almacenados en recipientes herméticos y su disposición final debe realizarse siguiendo las instrucciones proporcionadas por la supervisión. En caso de derrames accidentales de concreto, los residuos deben ser recolectados de inmediato y su disposición final debe cumplir con las regulaciones establecidas por la normativa vigente.

- ***Subprograma de control de erosión y sedimentos***

El objetivo es controlar la generación de partículas, debido a la extracción de agregados y al triturado del biocarbón. Ya que con ayuda del viento estas partículas pueden expandirse a lo largo de la zona de estudio afectando a las personas cercanas al entorno.

Las acciones implementadas para prevenir o reducir el incremento de la concentración de partículas en suspensión durante esta fase del proyecto son:

- En caso se recolecte agregados de una cantera que este cerca de un cuerpo de agua, se deberá limitar los movimientos para no generar mucha contaminación.
- En el caso de la elaboración de probetas que genera polvo de los materiales incluido el biocarbón, se recomienda mezclar el biocarbón con el cemento antes de agregar a la mezcladora de concreto ya que el biocarbón es más volátil al estar completamente seco. Además, se debe humedecer la zona cercana al área de trabajo y usar los EPP respectivo.

- ***Subprograma de protección de recursos naturales***

Probable conflicto en el uso de agua

- Es importante garantizar que el suministro de agua no cause inconvenientes a los residentes cercanos a la infraestructura en proceso de intervención, impidiendo interrumpir en el suministro para los pobladores.

Probable contaminación de los suelos

- Instalar una zona de lavado de aceites, además servirá para no contaminar nuestro propio diseño de mezcla.

- Tener conocimiento y capacitarse sobre el manejo de algunos aceites que se tendrán en la elaboración de muestras, que puedan desempeñar de manera correcta su labor.
- Ante derrames accidentales, es necesario mojar el área donde se produjo el vertido y proceder a retirar el material afectado de manera inmediata.

- ***Subprograma de salud local***

- En caso de que se genere ruido durante la elaboración de muestras de concreto utilizando la mezcladora, es importante asegurarse de que la maquinaria esté debidamente calibrada. Además, el personal encargado de esta tarea debe utilizar protectores auditivos, como orejeras y tapones. Es fundamental también programar estas actividades en horarios que no afectan a las personas que se encuentran cerca del área de estudio y pueden ser afectadas por el ruido.
- Se deberá tener un botiquín de primeros auxilios en caso de un accidente ocurrido en la realización de cualquier ensayo.

- ***Subprograma de seguridad motivo del EIA***

La persona que esté dispuesta a realizar cualquier evaluación de impacto deberá contar con unos requisitos mínimos para que no sufra cualquier inconveniente leve o grave.

- Equipo de primeros auxilios: Es imprescindible contar con un equipo de primeros auxilios que incluya, como mínimo, los siguientes elementos: kits de primeros auxilios, cuerdas, equipos de comunicación, materiales para vendajes, etc. Es fundamental que estos elementos sean fácilmente accesibles y que el personal pueda transportarlos rápidamente en caso de ser necesario. Estar capacitado para usar cualquier técnica de primeros auxilios.
- Implementos y medios de protección personal: Es necesario contar con un adecuado equipo de protección personal (EPP) según la naturaleza de su trabajo, con el objetivo de prevenir accidentes. El EPP debe cumplir con estándares de calidad, resistencia, durabilidad y comodidad, de manera que contribuya a mantener y proteger la salud del personal contratado durante la ejecución del proyecto: Protección contra las vías respiratorias, protección craneal mediante cascos, protección visual mediante lentes de seguridad, protección de pies con zapatos punta de acero, protección de manos con guantes y guardapolvo.

- **Subprograma de protección de recursos arqueológicos y culturales**

Este subprograma no se llevará a cabo ya que en la zona de estudio no se encuentran recursos arqueológicos ni culturales.

**Programa de monitoreo ambiental**

- **Subprograma de monitoreo del medio físico**

- **Ruido Ambiental:** Para asegurar la protección de la salud pública, es necesario realizar el monitoreo de los niveles de ruido de acuerdo con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Este monitoreo debe adaptarse a la zona de aplicación, garantizando así el cumplimiento de las normas establecidas. Con el objetivo de salvar la salud pública, es imprescindible asegurar que los valores obtenidos se encuentren por debajo de los límites establecidos en el Reglamento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (DSNP085-2003-PCM). A modo de referencia, se presenta a continuación un cuadro que muestra los niveles máximos permitidos de emisiones sonoras, de acuerdo con los estándares de calidad ambiental para ruido.

*Tabla 90: Nivel máximo permisible de emisiones sonoras*

Zonas de Aplicación	Valores expresados en (L <sub>AeqT</sub> )	
	Horario Diurno (De 7:01 a 22:00 hrs.)	Horario Nocturno (De 22:01 a 7:00 hrs.)
Zona de protección especial	50	40
Zona residencial	60	50
Zona comercial	70	60
Zona industrial	80	70

**Plan de compensación ambiental**

El plan de compensación se refiere a un conjunto de acciones y medidas establecidas en relación con los responsables o medios involucrados, específicamente relacionados con la actividad evaluada, en este caso la aplicación del biocarbón.

**Medida de conversación**

Por lo tanto, es de vital importancia cumplir rigurosamente con todas las disposiciones establecidas en el plan de manejo ambiental, con el objetivo de prevenir posibles impactos negativos significativos y alcanzar los objetivos propuestos en el desarrollo de la evaluación.

## Conclusiones de la Evaluación de Impacto Ambiental

Se determino el área de influencia directa, la cual es el laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Y el área de influencia indirecta, la zona que esta al contorno del laboratorio.

Se establecieron las líneas base ambientales, físicas, biológicas y socioeconómicas con tal de tener información a nuestro alcance que nos permita desarrollar de manera correcta la matriz de impactos ambientales.

El estudio de las interacciones entre los factores ambientales susceptibles de ser afectados y las acciones impactantes del proyecto ha proporcionado información para identificar y evaluar las posibles alteraciones en el entorno que podrían ocurrir durante la ejecución del proyecto. Este análisis se realizó mediante el uso de la Matriz de Leopold, con el objetivo de determinar los impactos potencialmente más relevantes.

Los impactos ambientales generados con la aplicación del biocarbón no son muy relevantes, ya que se puede observar impactos positivos a la atmosfera, ya que reduce la contaminación con CO<sub>2</sub>. Esto se confirma con los resultados de la matriz de Leopold, donde la acción más positiva se dio en la pirolisis de la madera (+32).

También se identificó el *componente ambiental más frágil*, como la acumulación de residuos sólidos (-330) en el factor ambiental suelo, seguido del componente calidad del suelo (-109) del mismo factor ambiental suelo, y en tercer lugar el componente partículas en suspensión (-79) con su factor ambiental aire. Así mismo, se determinó un componente ambiental positivo, la cual es la generación de empleo (+91) en el factor socio económico.

La *acción más agresiva*, a lo largo del desarrollo del proyecto, es la elaboración de concreto (-172), en segundo lugar, está el ensayo de resistencia a flexión (-72) y finalmente el ensayo de resistencia a compresión (-64) las cuales también ocasionarán un cambio en la calidad de suelo.

### **Recomendaciones de la Evaluación de Impacto Ambiental**

Es recomendable delimitar y acondicionar la zona donde se llevará a cabo la aplicación del biocarbón, asegurándose de evitar entornos donde existan fuertes vientos, ya que el material tiende a esparcirse por el aire.

Es aconsejable evitar el uso excesivo de la producción del biocarbón en zonas donde las materias orgánicas sean escasas, llevando a una deforestación en el caso de biocarbón de madera.

*Anexo 1: Elaboración de diseño de mezclas por el método del Comité 211-ACI*

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

### AGREGADO FINO CANTERA: LA VICTORIA - PÁTAPO

<i>Peso específico de masa:</i>	2.691	$g/cm^3$
<i>Peso unitario suelto seco:</i>	1527	$Kg/m^3$
<i>Peso unitario seco compactado:</i>	1752	$Kg/m^3$
<i>Porcentaje de humedad:</i>	1.96	%
<i>Porcentaje de absorción:</i>	0.91	%
<i>Módulo de fineza:</i>	2.87	

### AGREGADO GRUESO CANTERA: TRES TOMAS - FERREÑAFE

<i>Peso específico de masa:</i>	2.650	$g/cm^3$
<i>Peso unitario suelto seco:</i>	1360	$Kg/m^3$
<i>Peso unitario seco compactado:</i>	1576	$Kg/m^3$
<i>Porcentaje de humedad:</i>	0.36	%
<i>Porcentaje de absorción:</i>	1.08	%
<i>Tamaño máximo</i>	1	"
<i>Tamaño máximo nominal</i>	3/4	"

### CEMENTO

<i>Peso específico:</i>	3110	$Kg/cm^3$
-------------------------	------	-----------

AGUA: *Agua potable de la red pública de la ciudad de Chiclayo*

RESISTENCIA DE DISEÑO: 210  $Kgf/cm^2$

## 2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

$$f_c = 210 \text{ Kgf/cm}^2$$

$f_c$	$f_{cr}$
<210	$f_c + 70$
210 - 350	$f_c + 84$
>350	$f_c + 98$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kgf/cm}^2$$

**3. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO:**

slump = 3" - 4"

**4. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO:**

2 %

TMN: 3/4 "

## SIN EXPOSICION

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		AIRE ATRAPADO %
3/8	9.50	3.0
1/2	12.50	2.5
3/4	19.00	2.0
1	25.00	1.5
1 1/2	37.50	1.0
2	50.00	0.5
3	75.00	0.3
6	150.00	0.2

## CON EXPOSICION

TMN A. GRUESO	CONTENIDO DE AIRE TOTAL (%)		
	E. SUAVE	E. MODERADA	E. SEVERA
3/8	4.5	6.00	7.5
1/2	4.00	5.5	7.00
3/4	3.5	5.00	6.5
1	3.00	4.5	6.00
1 1/2	2.5	4.5	5.5
2	2.00	4.00	5.00
3	1.5	3.5	4.5
6	1.00	3.00	4.00

**5. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA:**205 Lt/m<sup>3</sup>

ASENTAMIENTO	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO GRUESO							
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

**6. RELACIÓN AGUA CEMENTO:**

f'cr	a/c
280	0.57
294	X
300	0.55

$$X = 0.57 + [ (0.55 - 0.57) / (300 - 280) ] * (294 - 280)$$

$$X = 0.556$$

**7. FACTOR CEMENTO:**

$$FC = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{205}{0.556} = 368.71 \text{ Kg/m}^3$$

$$FC = 368.71 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{bls de cemento} = 42.5 \text{ Kg/bls}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 8.7 \text{ bls por m}^3 \text{ de concreto}$$

**8. CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO:**

$$\text{Módulo de fineza del agregado fino: } 2.87 \%$$

TMN A. GRUESO	MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

MF	b/bo
2.8	0.62
2.87	X
3	0.6

$$X = 0.62 + [ (0.6 - 0.62) / (3 - 2.8) ] * (2.871 - 2.8)$$

$$b/bo = 0.613$$

Peso seco del agregado grueso =

b/bo		PUSC
0.6129	X	1576

$$= 965.930 \text{ Kg/m}^3$$

**9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS:**

$$\text{Cemento: } 368.71 / 3110 = 0.119 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua: } 205 / 1000 = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire } 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso: } 965.93 / (2.65 * 1000) = \frac{0.365}{0.708} \text{ m}^3$$

**10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO:**

$$AF = 1 - 0.708 = 0.292 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.292 * (2.691 * 1000) = 785.62 \text{ Kg/m}^3$$

**11. VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS.**

Cemento:	368.71 Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	205.00 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	785.62 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	965.93 Kg/m <sup>3</sup>

**12. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

$$PH = PS * (1 + \%H)$$

$$PHAF = 785.62 * (1 + 1.96 \% ) = 801.018 \text{ Kg/m}^3$$

$$PHAG = 965.93 * (1 + 0.36 \% ) = 969.408 \text{ Kg/m}^3$$

**13. APORTE DE HUMEDAD DEL AGREGADO:**

$$AP = PS * (\%H - \% A)$$

APAF =	785.62 * ( 1.96 % - 0.91 % ) =	8.249	Lt/m <sup>3</sup>
APAG =	965.93 * ( 0.36 % - 1.08 % ) =	-6.955	Lt/m <sup>3</sup>
Aporte de humedad del Agregado total (APT):		<u>1.294</u>	<u>Lt/m<sup>3</sup></u>

**14. AGUA EFECTIVA:**

$$AE = AD - (APT)$$

$$AE = 205 - (1.294) = 203.706 \text{ Lt/m}^3$$

**15. CONDICIONES HÚMEDAS:**

Cemento:	368.710 Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	203.706 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo:	801.018 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo:	969.408 Kg/m <sup>3</sup>

**Resumen:****VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS**

Cemento:	368.71	Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	205.00	Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino seco:	785.62	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco:	965.93	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario:	<u>2325</u>	Kg/m <sup>3</sup>

**VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES HÚMEDAS**

Cemento:	368.71	Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	203.71	Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo:	801.02	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo:	969.41	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario:	<u>2343</u>	Kg/m <sup>3</sup>

**CANTIDAD DE BIOCARBÓN POR m<sup>3</sup>**

Dosificación (%)	Kg/m <sup>3</sup>
1	3.7
2	7.4
2.5	9.2

Comprobación:

PU húmedo -PU seco	=	agua absorbida por los agregados: PS AG * %A + PS AF * %A
2342.836 - 2325.255	=	965.93*1.08% + 785.62*0.91%
<b>17.581</b>	=	<b>17.581</b>

**16. PROPORCIONES EN PESO****Sin corregir (peso seco):**

C	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>369</u>	:	<u>786</u>	:	<u>966</u>		
369		369		369		
<b>1</b>	:	<b>2.13</b>	:	<b>2.62</b>	/	<b>23.6 Lt/bolsa</b>

**Corregida por humedad:**

C	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>369</u>	:	<u>801</u>	:	<u>969</u>		
369		369		369		
<b>1</b>	:	<b>2.17</b>	:	<b>2.63</b>	/	<b>23.5 Lt/bolsa</b>

**17. MATERIALES POR TANDA DE UNA BOLSA**

Cemento:	42.5	Kg/bls
Agua:	23.5	Lt/bls
Agregado fino húmedo:	92.33	Kg/bls
Agregado grueso húmedo:	<u>111.74</u>	Kg/bls
Peso por tanda:	270.1	Kg/bls

**Cantidad de Biocarbón por bolsa:**

Dosificación (%)	Kg/bolsa
1	0.4
2	0.9
2.5	1.1

**18. AJUSTE DE PROPORCIONES****a) VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS**

Cemento:	368.71	Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	205.00	Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	785.62	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	965.93	Kg/m <sup>3</sup>

**b) Relación a/c = 0.556****c) Volúmenes iniciales**

Cemento:	0.119	m <sup>3</sup>
Agua:	0.205	m <sup>3</sup>
Agregado fino:	0.292	m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	0.365	m <sup>3</sup>

**d) Nuevos pesos**

Asentamiento de diseño:	3-4	"
Asentamiento obtenido:	2	"

Falta = 2 "  
 Adicionar = 10 Lt de agua

$$\text{Agua} = 205 + 10 = 215.00 \text{ Lt}$$

$$\text{Cemento} = 215.0 / 0.556 = 386.69 \text{ Kg}$$

**Relación a/c = 0.556 Se mantiene**

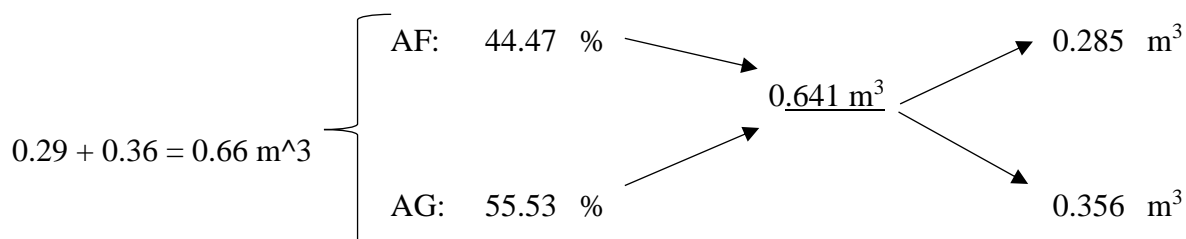
### e) Volúmenes corregidos

Cemento:	0.124	m <sup>3</sup>
Agua:	0.215	m <sup>3</sup>
Contenido de aire:	0.020	m <sup>3</sup>
	<u>0.359</u>	m <sup>3</sup>

Volumen total del agregado: **0.641 m<sup>3</sup>**

Volúmenes originales:

Agregado fino:	0.292 m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	0.365 m <sup>3</sup>



Agregado fino:	0.285 m <sup>3</sup>
Agregado grueso:	0.356 m <sup>3</sup>

### f) Condiciones secas

Cemento:	386.69 Kg	= 9.1 bolsas/m <sup>3</sup>
Agua:	215.00 Lt	
Agregado fino:	766.730 Kg/ m <sup>3</sup>	
Agregado grueso:	942.706 Kg/ m <sup>3</sup>	

### **g) CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO:**

$$PH = PS * (1 + \%H)$$

$$PHAF = 766.73 * (1 + 1.96 \% ) = 781.758 \text{ kg/ m}^3$$

$$PHAG = 942.71 * (1 + 0.36 \% ) = 946.100 \text{ kg/ m}^3$$

### **h) APOORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADO**

$$AP = PS * (\%H - \% A)$$

$$APAF = 766.73 * (1.96 \% - 0.91 \% ) = 8.051 \text{ Lt/ m}^3$$

$$APAG = 942.71 * (0.36 \% - 1.08 \% ) = -6.787 \text{ Lt/ m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad del Agregado total (APT): } 1.263 \text{ Lt/ m}^3$$

**i) AGUA EFECTIVA**

$$AE = AD - (APT)$$

$$AE = 215 - (1.263) = 213.737 \text{ Lt}$$

**j) CONDICIONES HÚMEDAS:**

Cemento:	386.69 Kg
Agua:	213.737 Lt
Agregado fino húmedo:	781.758 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo:	946.100 Kg/m <sup>3</sup>

**k) Resumen:****VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS**

Cemento:	386.69	Kg
Agua:	215.00	Lt
Agregado fino seco:	766.73	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco:	942.71	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario:	<u>2311</u>	Kg/m <sup>3</sup>

**VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES HÚMEDAS**

Cemento:	386.69	Kg
Agua:	213.74	Lt
Agregado fino húmedo:	781.76	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo:	946.10	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario:	<u>2328</u>	Kg/m <sup>3</sup>

**CANTIDAD DE BIOCARBÓN POR m<sup>3</sup>**

Dosificación (%)	Kg/m <sup>3</sup>
1	3.9
2	7.7
2.5	9.7

Comprobación:

$$\text{PU húmedo} - \text{PU seco} = \text{agua absorbida por los agregados: PS AG} * \%A + \text{PS AF} * \%A$$

$$2328.286 - 2311.127 = 942 * 1.08\% + 766.73 * 0.91\%$$

$$17.158 = 17.158$$

**I) PROPORCIONES EN PESO****Sin corregir (peso seco):**

C	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>387</u>	:	<u>767</u>	:	<u>943</u>		
387		387		387		
<b>1</b>	<b>:</b>	<b>1.98</b>	<b>:</b>	<b>2.44</b>	<b>/</b>	<b>23.6 Lt/bolsa</b>

**Corregida por humedad:**

C	:	AF	:	AG	/	Agua
<u>387</u>	:	<u>782</u>	:	<u>946</u>		
387		387		387		
<b>1</b>	<b>:</b>	<b>2.02</b>	<b>:</b>	<b>2.45</b>	<b>/</b>	<b>23.5 Lt/bolsa</b>

**m) MATERIALES POR TANDA DE UNA BOLSA**

Cemento:	42.5	Kg/bls
Agua:	23.5	Lt/bls
Agregado fino húmedo:	85.92	Kg/bls
Agregado grueso húmedo:	104.0	Kg/bls
Peso por tanda:	<u>255.9</u>	Kg/bls

**Cantidad de Biocarbón por bolsa:**

Dosificación (%)	Kg/bolsa
1	0.425
2	0.850
2.5	1.063

## DISEÑO TEORICO

### VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS

Cemento:	368.71 Kg/m <sup>3</sup>	A/C :	0.556
Agua:	205.00 Lt/m <sup>3</sup>		
Agregado fino seco:	785.62 Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado grueso seco:	965.93 Kg/m <sup>3</sup>		

### CONDICIONES HÚMEDAS

Cemento:	368.71 Kg/m <sup>3</sup>	A/C :	0.552
Agua:	203.71 Lt/m <sup>3</sup>		
Agregado fino húmedo:	801.02 Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado grueso húmedo:	969.41 Kg/m <sup>3</sup>		

### CANTIDAD DE BIOCARBÓN POR M<sup>3</sup>

Dosificación (%)	Kg/bolsa
1	3.7
2	7.4
2.5	9.2

## DISEÑO CORREGIDO

### VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS

Cemento:	386.69 Kg	A/C :	0.556
Agua:	215.00 Lt		
Agregado fino seco:	766.73 Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado grueso seco:	942.71 Kg/m <sup>3</sup>		
Peso unitario:	2311.13 Kg/m <sup>3</sup>		

### CONDICIONES HÚMEDAS

Cemento:	386.69 Kg	A/C :	0.552
Agua:	213.74 Lt		
Agregado fino húmedo:	781.76 Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado grueso húmedo:	946.10 Kg/m <sup>3</sup>		
Peso unitario:	2328.29 Kg/m <sup>3</sup>		

### CANTIDAD DE BIOCARBÓN POR M<sup>3</sup>

Dosificación (%)	Kg/bolsa
1	3.9
2	7.7
2.5	9.7

Anexo 2: Ficha técnica de cemento Pórtland tipo I



Pacasmayo

**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 04

Planta: Pacasmayo

**Cemento Pórtland Tipo I**

12 de agosto de 2022

Periodo de despacho 01 de julio de 2022 - 31 de julio de 2022

**REQUISITOS NORMALIZADOS**

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

**QUÍMICOS**

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.0
SO <sub>3</sub> (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	2.8
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.6

**FÍSICOS**

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
<b>Contenido de aire del mortero (volumen %)</b>	12 máx.	8
<b>Superficie específica (cm<sup>2</sup>/g)</b>	2600 mín.	4030
<b>Expansión en autoclave (%)</b>	0.80 máx.	0.05
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	^	3.11
<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>		
1 día	^	15.8
3 días	12.0 mín.	28.1
7 días	19.0 mín.	34.7
28 días *	28.0 mín.	43.3
<b>Tiempo de fraguado Vicat (minutos)</b>		
Inicial	45 mín.	109
Final	375 máx.	230

^ No especifica

\* Requisito opcional

El (la) RC 28 días corresponde al mes de junio del 2022

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

*Ing. Dennis R. Rodas Lavado*

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S. A. A.

*Anexo 3: Validación de ensayos de laboratorio (1)*



**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORME N° LEM USAT 029-2023

FECHA: 08 de Junio 2023

## Validación de Ensayos de Laboratorio

ESTUDIANTE: José Giancarlo Salvador Terrones

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo.

El que suscribe, responsable del laboratorio de ingeniería Civil ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizado por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

Ensayos realizados en la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, Laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental.

*Propiedades físicas del Agregado Fino y agregado grueso.*

- Granulometría
- Peso unitario suelto y compactado
- Contenido de humedad
- Peso específico y absorción
- Módulo de fineza del agregado fino

*Propiedades físicas del concreto en estado fresco*

- Exudación

Ensayos realizados en el laboratorio, FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.

*Propiedades físicas y mecánicas del concreto*

- Tiempo de fraguado
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión



*Anexo 4: Validación de ensayos de laboratorio (2)*



Ensayos realizados en el LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. -LEMS W & C E.I.R.L.

*Propiedades físicas y mecánicas del concreto*

- Módulo de elasticidad
- Figuración

*Propiedades del biocarbón*

- Densidad del biocarbón

Ensayos realizados en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE CIENCIAS, Laboratorio Labicer.

*Propiedades químicas del biocarbón*

- Análisis de composición química del biocarbón.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Henry Rivadeneyra Oblitas  
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



Anexo 5: Certificación de ensayos de laboratorio FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Chiclayo, 7 junio del 2023

Quien suscribe:

**REPRESENTANTE LEGAL.**

GASTELO CHIRINOS GERMAN OSCAR-GERENTE GENERAL.  
CAL.JOSE GALVEZ N° 120 – CHICLAYO – LAMBAYEQUE

**ASUNTO:** Realización de ensayos en el laboratorio, FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C

Tengo el agrado de dirigirme a la escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la **UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**, para informar que el tesista SALVADOR TERRONES JOSE GIANCARLO con código universitario 161ME65694, identificado con número de DNI:73825496, y con nombre del proyecto de investigación "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL CEMENTO POR BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA, EN LA CIUDAD DE CHICLAYO", ha realizado estudios de laboratorio, Ensayos de agregados, Ensayo de compresión de testigos(72), Ensayo de flexión (48), Ensayo de tiempo de fraguado(4), en mi empresa mencionada en los párrafos anteriores, representada con RUC 20561114502 bajo la supervisión del técnico encargado del laboratorio.

Agradeciendo la atención al presente, aprovechando la oportunidad para expresarles los sentimientos de mi especial consideración y estima.  
Atentamente.



FERMATI CONSTRUCTORA Y  
SERVICIOS GENERALES SAC  
*German Gastelo Chirinos*  
GERENTE GENERAL



964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

## Anexo 6: Certificados de calibración



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LFP-050-2022

Página 1 de 3

Fecha de emisión	2022/06/15
Solicitante	FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.
Dirección	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Instrumento de medición	PRESA HIDRAULICA PARA CONCRETO
Identificación	NO INDICA
Marca	PINZUAR
Modelo	PC-42
Serie	270
Capacidad	1200 kN
Indicador	DIGITAL
Serie	456
Bomba	ELECTRICA
Procedencia	COLOMBIA
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO
Lugar de calibración	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Fecha de calibración	2022/06/15

**Método/Procedimiento de calibración**

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arévalo Cárnic  
Metrología

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Vlv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

## Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	Celda de Carga de 100 t	INF-LE N° 175-21

## Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 21,4 °C	Final: 21,4 °C
Humedad Relativa	Inicial: 62 %hr	Final: 62 %hr

## Resultados

TABLA N° 01

## CALIBRACION DE PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO

SISTEMA DIGITAL "A" kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON (kg)				PROMEDIO "B" kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) kg	SERIE (2) kg	ERROR %	ERROR (2) %			
10332	10310	10340	-0.21	0.08	10325.0	-0.07	0.21
20741	20710	20934	-0.15	0.93	20822.0	0.39	0.76
30274	30520	30520	0.81	0.81	30520.0	0.81	0.00
40042	40380	40200	0.84	0.39	40290.0	0.62	0.32
50500	50820	50910	0.63	0.81	50865.0	0.72	0.13
60645	61150	61180	0.83	0.88	61165.0	0.86	0.03
70450	71100	71070	0.92	0.88	71085.0	0.90	0.03
80611	81010	81349	0.49	0.92	81179.5	0.71	0.30

## NOTAS SOBRE CALIBRACION

- La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = Error(2) - Error(1)$$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %



ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arévalo Cárdenas  
METROLOGÍA

## ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
 ventas@arsougroup.com  
 www.arsougroup.com



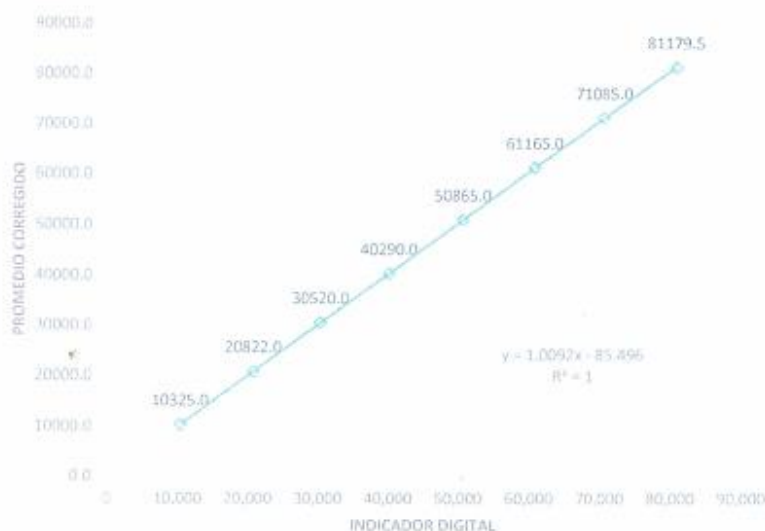
**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LFP-050-2022

Página 3 de 3

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde:  $y = 1.0092x - 85.496$

Coeficiente Correlación  $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)



**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnic:  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMI-023-2022

Página 1 de 5

**Arso Group**

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2022/06/01
Solicitante	FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES SAC
Dirección	CAL. FRANCISCO CABRERA NRO. 1277 CERCADO CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Instrumento de medición	HORNO
Identificación	NO INDICA
Marca	PYS EQUIPOS EIRL
Modelo	STHX-2A
Serie	157103
Cámara	136 LITROS
Ventilación	NATURAL
Pinómetro	DIGITAL
Procedencia	CHINA
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS
Lugar de calibración	CAL. FRANCISCO CABRERA NRO. 1277 CERCADO CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Fecha de calibración	2022/06/01

**Método/Procedimiento de calibración**

- SNM – PC-018 2da Ed. 2009 – Procedimiento para la calibración de medios isotermos con aire como medio termostático. INACAL.  
- ASTM D 2216, MTC E 108 – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.  
*[Signature]*  
ING. LUIS ARROYO  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Vv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01. San Martín de Porres, Lima, Perú  
Tel: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LMI-023-2022

Página 2 de 5

**Arsou Group**

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
CADENT S.A.C.	Termómetro con sonda MARCA: EZODO	0015-LT-2021

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 24,2 °C Final: 21,8 °C

Humedad Relativa Inicial: 46%hr Final: 43%hr

Presión Atmosférica Inicial: 1015 mbar Final: 1015 mbar

Resultados

TEMPERATURA

Tiempo (hh:mm)	Pirómetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA °C										T° Prom. °C	Tmax - Tmin °C
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00:00	110	111.0	110.8	110.7	111.0	110.3	110.1	110.0	110.5	110.5	110.6	110.6	1.0
00:02	110	110.5	110.5	111.0	110.6	110.8	110.7	110.5	110.9	110.1	110.4	110.6	0.9
00:04	110	110.7	110.4	110.6	110.7	110.5	110.4	110.5	110.1	110.5	111.0	110.3	0.9
00:06	110	110.8	110.9	110.4	110.6	110.7	110.3	110.0	110.6	110.1	110.5	110.5	0.9
00:08	110	110.5	110.0	110.5	110.5	110.1	110.7	110.7	110.5	110.6	110.7	110.4	0.7
00:10	110	110.3	110.6	110.8	110.0	110.8	110.1	110.7	110.1	110.1	110.1	110.4	0.8
00:12	110	110.7	111.0	110.3	110.3	110.5	110.3	110.0	110.1	110.1	110.7	110.4	1.0
00:14	110	110.6	110.5	110.1	110.3	110.1	110.6	110.2	110.6	110.1	110.9	110.4	0.8
00:16	110	110.2	110.0	110.2	110.7	110.3	110.8	111.0	110.4	110.5	110.9	110.5	1.0
00:18	110	110.4	110.3	110.8	110.0	110.7	110.1	110.0	110.8	110.2	110.2	110.4	0.8
00:20	110	110.3	110.1	110.8	110.9	110.8	110.5	110.7	110.5	111.0	110.7	110.6	0.9
00:22	110	110.4	110.7	110.7	110.7	110.4	110.1	110.3	110.3	110.5	111.0	110.5	0.9
00:24	110	110.8	110.4	110.5	110.6	110.0	110.4	110.3	110.5	110.1	110.7	110.4	0.8
00:26	110	110.3	110.4	110.5	110.3	110.0	110.7	110.7	110.3	110.5	110.7	110.4	0.7
00:28	110	110.9	110.5	110.1	110.9	110.4	110.7	110.9	110.4	111.0	110.7	110.7	0.9
00:30	110	110.4	110.2	110.0	110.7	110.9	110.2	110.4	110.0	110.2	110.9	110.4	0.9
00:32	110	110.7	110.5	110.4	110.7	110.7	110.4	110.8	110.4	110.7	110.5	110.6	0.4
00:34	110	110.5	110.1	110.5	110.5	110.3	110.5	110.1	110.7	110.0	110.6	110.4	0.7
00:36	110	110.8	110.7	110.7	110.8	110.4	110.8	110.5	110.2	110.1	110.4	110.5	0.7
00:38	110	110.5	110.1	110.5	110.9	110.6	110.6	110.7	110.2	110.4	110.4	110.5	0.8
00:40	110	110.2	111.0	110.4	110.2	110.9	110.2	110.5	110.5	110.5	110.3	110.5	0.8
00:42	110	110.0	110.5	110.8	110.8	110.3	110.3	110.1	110.1	110.1	110.9	110.4	0.9
00:44	110	110.1	110.6	111.0	110.9	110.1	110.9	110.6	110.2	110.5	110.7	110.6	0.9
00:46	110	110.2	110.5	110.2	110.9	110.4	110.7	110.8	110.3	110.3	111.0	110.5	0.8
00:48	110	110.1	110.8	110.1	110.8	110.7	110.4	110.6	110.0	110.4	110.6	110.4	0.8
00:50	110	110.8	110.8	110.4	110.7	110.7	110.2	110.8	111.0	110.1	110.5	110.6	0.9
T. PROM.	110	110.5	110.5	110.5	110.6	110.5	110.4	110.5	110.4	110.4	110.6	110.5	
T. MAX.	110	111.0	111.0	111.0	111.0	110.9	110.9	111.0	111.0	111.0	111.0		
T. MIN.	110	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.1	110.0	110.0	110.0	110.1		

Nomenclatura:

T. P Promedio de indicaciones corregidas de los termopares para un instante de tiempo.

Tm. Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo

T. P Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.

T. M La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

T. N La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. H. [Firma] Arcevallo C. 10122



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

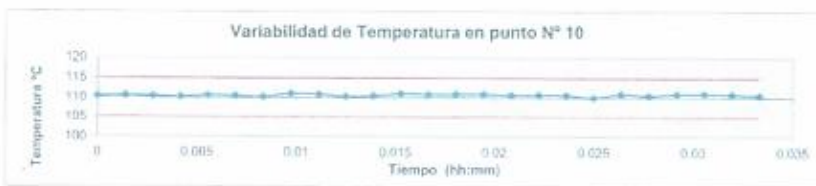
GRÁFICO



ARSOU GROUP S.A.C.  
Asoc. Vv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C.  
*[Signature]*  
ING. LUIS ARNALDO GARCÍA  
METROLOGÍA



DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL ESPACIO



NIVEL SUPERIOR



NIVEL INFERIOR



ARSOU GROUP S.A.C.  
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Peru  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP  
*[Signature]*  
Ing. Luis Armando Carrico  
METROLOGÍA



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LMI-023-2022

Página 5 de 5

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA



PANEL FRONTAL DEL EQUIPO

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Vlv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com





**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMA-028-2023

Página 1 de 3

<b>Fecha de emisión</b>	2023/01/26
<b>Solicitante</b>	<b>FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.</b>
<b>Dirección</b>	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
<b>Instrumento de medición</b>	<b>BALANZA</b>
Identificación	NO INDICA
Intervalo de indicación	30000 g
División de escala Resolución	1 g
División de verificación (e)	1 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	TSCALE
Modelo	QHW-30
N° de serie	02402047011
Procedencia	CHINA
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de suelos
<b>Lugar de calibración</b>	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
<b>Fecha de calibración</b>	2023/01/26
<b>Método/Procedimiento de calibración</b>	"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metroológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



*[Handwritten signature]*  
Luis Amado Cerro  
LABORATORIO DE METROLOGÍA



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMA-028-2023

Página 2 de 3

**Patrones e Instrumentos auxiliares**

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

**Condiciones ambientales durante la calibración**

Temperatura Ambiental    Inicial: 26,6 °C                      Final: 28,7 °C  
 Humedad Relativa            Inicial: 62 %hr                                      Final: 59 %hr

**Resultados**

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	14999,0	0,07	-0,11	30000	0,03	-0,1
2	14999,0	0,04	-0,12	29999	0,05	-0,11
3	14999,0	0,03	-0,1	29999	0,02	-0,11
4	14999,0	0,04	-0,1	29999	0,01	-0,12
5	14999,0	0,03	-0,11	29999	0,01	-0,11
6	14999,0	0,01	-0,11	29999	0,09	-0,18
7	14999,0	0,01	-0,11	29999	0,03	-0,11
8	14999,0	0,05	-0,1	29999	0,02	-0,1
9	14999,0	0,03	-0,15	29999	0,01	-0,11
10	14999,0	0,01	-0,12	29999	0,01	-0,11
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
14999	0		1			
29999	0		5			



ARSOU GROUP S.A.C.  
 [Handwritten signature]

## ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de $E_0$				Determinación de $E_0$				
	Carga Mín <sup>(1)</sup> (g)	I (kg)	$\Delta L$ (g)	$E_0$ (g)	Carga L (g)	I (kg)	$\Delta L$ (g)	E (g)	$E_c$ (g)
1	100	100	0,01	-0,01	10000	10000	0,04	-0,02	0,07
2		100	0,05	0		9999	0,03	-0,02	0
3		100	0,05	0		9998	0,01	-0,03	-0,01
4		100	0,02	0,03		10000	0,07	0,08	0,05
5		100	0,06	-0,02		9999	0,06	0,19	0,21

<sup>(1)</sup> Valor entre 0 y 10 e

## ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP <sup>(1)</sup> (±g)
	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	$E_c$ (g)	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	$E_c$ (g)	
1	1	0,02	-0,06						1
5	5	0,01	0,01	0,01	5	0,01	0,01	0,03	1
10	10	0,06	-0,03	0,01	10	0,02	-0,07	-0,01	1
50	50	0,03	0	0	50	0,02	-0,07	-0,05	1
100	100	0,01	0	0	100	0,04	-0,01	0,01	1
500	500	0,05	0,01	0,01	500	0,08	-0,01	0,01	1
1000	1000	0,04	-0,02	0,02	1000	0,05	0	0,02	1
5000	4999	0,01	-0,05	0,03	4999	0,06	-0,1	-0,07	1
10000	10000	0,02	0,01	0,01	10000	0,06	-0,21	-0,07	5
15000	15000	0,01	0,03	0,03	14999	0,07	-0,12	-0,02	5
30000	30000	0,06	0,6	0,09	30000	0,09	-0,21	-0,21	5

## Leyenda

I: Indicación de la balanza

$\Delta L$ : Carga incrementada

E: Error encontrado

$E_0$ : Error en cero

$E_c$ : Error corregido

EMP: Error máximo permitido

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición  $U_{95} = 2^* \sqrt{0,16670 \text{ g}^2 + 0,000000004190 \text{ g}^2}$

Lectura Corregida  $R_{\text{correctada}} \pm R = 0,03872025 \text{ g} \pm 4$

E: Indicación de lectura de balanza (g)



## Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metroológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
4. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMA-027-2023

Página 1 de 3

<b>Fecha de emisión</b>	2023/01/26
<b>Solicitante</b>	<b>FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.</b>
<b>Dirección</b>	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
<b>Instrumento de medición</b>	<b>BALANZA</b>
Identificación	NO INDICA
Intervalo de indicación	600 g
División de escala Resolución	0.01 g
División de verificación (e)	0.01 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	APOLO INSTRUMENTS
Modelo	YP6002D
N° de serie	160917
Procedencia	ESTADOS UNIDOS
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de suelos
<b>Lugar de calibración</b>	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
<b>Fecha de calibración</b>	2023/01/26

**Método/Procedimiento de calibración**

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metroológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.





**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMA-027-2023

Página 2 de 3

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 28,4 °C Final: 28,9 °C

Humedad Relativa Inicial: 60 %hr Final: 61 %hr

Resultados

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 310 g			Carga L1= 620 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	320,00	0,001	-0,001	620,01	0,005	-0,002
2	320,00	0,002	-0,004	620,00	0,001	-0,002
3	320,00	0,004	-0,005	620,00	0,006	-0,002
4	320,01	0,003	-0,007	620,01	0,003	-0,005
5	320,01	0,003	-0,009	620,00	0,002	-0,011
6	320,00	0,004	-0,001	620,01	0,005	-0,011
7	320,00	0,004	-0,004	620,01	0,003	-0,01
8	320,00	0,007	-0,008	620,00	0,002	-0,007
9	320,01	0,006	-0,004	620,01	0,001	-0,005
10	320,01	0,005	-0,003	620,01	0,002	-0,002
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
320,01	0		0,05			
620,01	0		0,3			



*[Handwritten signature]*  
 Arsou Group S.A.C.  
 Laboratorio de Metrología



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LMA-027-2023

Página 3 de 3

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación de E <sub>0</sub>				
	Carga Mín <sup>(1)</sup> (g)	I (kg)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	0,5	0,5	0,004	-0,001	10	10,00	0,006	-0,001	0,001
2		0,5	0,006	-0,004		10,01	0,003	-0,001	0,004
3		0,5	0,005	0,004		10,00	0,004	-0,002	-0,005
4		0,5	0,007	0,001		10,00	0,001	0,004	0,003
5		0,5	0,009	-0,002		10,01	0,004	0,004	0,002

<sup>(1)</sup> Valor entre 0 y 10 e

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP <sup>(2)</sup> (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
0,05	0,05	0,004	-0,001						
1,00	1,00	0,006	0,004	0,004	1,00	0,006	0,001	0,004	0,1
5,00	5,00	0,002	-0,005	0,003	5,00	0,005	0,004	-0,003	0,1
10,00	10,00	0,002	0,004	0,005	10,00	0,009	-0,003	-0,003	0,1
50,00	50,00	0,001	0,002	0,001	50,00	0,004	0,002	0,0001	0,1
100,00	100,00	0,009	0,004	0,008	100,00	0,005	0,005	0,001	0,1
200,00	200,00	0,009	0,004	0,008	200,00	0,005	0,005	0,001	0,1
300,00	300,00	0,005	0,008	0,003	300,00	0,007	0,004	0,004	0,1
400,00	400,00	0,004	0,004	0,005	400,00	0,005	-0,003	-0,002	0,1
500,00	500,00	0,009	0,004	0,004	500,00	0,003	-0,008	-0,001	0,5
600,00	600,00	0,015	0,008	0,001	600,00	0,014	-0,014	-0,01	0,5

**Leyenda**

I: Indicación de la balanza

ΔL: Carga Incrementada

E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero

E<sub>c</sub>: Error corregido

EMP: Error máximo permitido

**INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA**

Incertidumbre expandida de medición  $U_x = 2 \cdot \sqrt{0,0005 \text{ g}^2 + 0,000006877059 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida  $R_{\text{corregida}} = R + 75,422890265 \text{ R}$

R: Indicación de lectura de balanza (g)



**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.
4. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Carlos Alberto Carrillo  
M. P. 00000000000000000000

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Vía Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 251 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

*Anexo 7: Certificación de ensayos de LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L*



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceirl@gmail.com

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

**Chiclayo, 07 de junio del 2023**

**Quien suscribe:**

**Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar**

**Representante Legal – LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.**

**AUTORIZA:** Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f’c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo”.

Por el presente, el que suscribe, Wilson Arturo Olaya Aguilar representante legal de la empresa LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. **AUTORIZO** al estudiante José Giancarlo Salvador Terrones identificado con DNI N° 73825496 estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autor del trabajo de investigación denominado “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f’c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo” para el uso de laboratorio técnico y formatos de procesamiento de datos y cálculo para obtención de resultados de control de calidad en efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Ensayos realizados:

- Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento portland - NTP 334.005 (1)
- Método Estándar de Módulo de Elasticidad Estático - ASTM C-469 (12)
- Método de prueba estándar para evaluación del agrietamiento por contracción plástica - ASTM C1579 – 06 (8)

Atentamente.



**LEMS W&C EIRL.**  
  
**WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR**  
 GERENTE GENERAL

## Anexo 8: Certificados de calibración



CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS  
RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

### CA - LM - 033 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	0117-2022	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W&C E.I.R.L.	
3. Dirección	CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	2000 g	CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
División de escala (d)	0.01 g	
Div. de verificación (e)	0.1 g	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Clase de exactitud	III	
Marca	AMPUT	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Modelo	457	
Número de Serie	NO INDICA	
Capacidad mínima	0.2 g	
Procedencia	NO INDICA	
Identificación	NO INDICA	
5. Fecha de Calibración	2022-01-21	

Fecha de Emisión

2022-01-22

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALDAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 033 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

### 7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.

CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.5 °C	26.5 °C
Humedad Relativa	53%	55%

### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021

### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*\*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 033 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

### 11. Resultados de Medición

#### INSPECCIÓN VISUAL

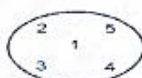
AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C

Medición Nº	Carga L1 = 1,000 g			Carga L2 = 2,000 g			
	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	
1	1000.00	5	0	2000.00	5	0	
2	1000.00	4	1	2000.01	8	7	
3	1000.01	8	7	2000.00	3	2	
4	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
5	1000.00	6	-1	2000.00	2	3	
6	1000.01	9	6	2000.00	5	0	
7	1000.00	4	1	2000.00	4	1	
8	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
9	1000.00	6	-1	2000.01	8	7	
10	1000.00	4	1	2000.00	6	-1	
Diferencia Máxima			8	Diferencia Máxima			8
Error Máximo Permissible			200	Error Máximo Permissible			300

#### ENSAYO DE EXCENRICIDAD



Posición  
de las  
cargas

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	$\Delta L$ (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0.10	0.10	5	0	1000.00	1000.00	5	0	0
2		0.11	8	7		1000.00	4	1	-6
3		0.10	6	-1		1000.00	6	-1	0
4		0.10	5	0		1000.00	5	0	0
5		0.10	6	-1		1000.01	8	7	8
Error máximo permisible									200

\* Valor entre 0 y 10e

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 033 - 2022

Página 4 de 4

### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.10	0.10	6	-1						
0.20	0.20	5	0	1	0.20	5	0	1	100
10.00	10.00	6	-1	0	10.00	5	0	1	100
100.00	100.00	7	-2	-1	100.00	4	1	2	100
500.00	500.00	6	-1	0	500.00	5	0	1	200
800.00	800.00	5	0	1	800.00	6	-1	0	200
1000.00	1000.00	6	-1	0	1000.00	7	-2	-1	200
1200.00	1200.00	6	-1	0	1200.00	2	3	4	200
1500.00	1500.00	4	1	2	1500.00	3	2	3	200
1800.00	1800.01	8	7	8	1800.00	3	2	3	200
2000.00	2000.01	8	7	8	2000.01	8	7	8	300

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E<sub>o</sub>: Error en cero.  
l: Indicación de la balanza. E: Error encontrado. E<sub>c</sub>: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición  $U = 2 \times \sqrt{(0.000028 \text{ g}^2 + 0.00000000001 \text{ R}^2)}$

Lectura corregida  $R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0.0000026 R$

#### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LF - 024 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

<b>1. Expediente</b>	0117-2022	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).  Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>2. Solicitante</b>	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W&amp;C E.I.R.L.</b>	
<b>3. Dirección</b>	CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE	
<b>4. Equipo</b>	<b>PRENSA DE CONCRETO</b>	
<b>Capacidad</b>	2000 kN	
<b>Marca</b>	AyA INSTRUMENT	CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.  Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.  El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
<b>Modelo</b>	STYE-2000B	
<b>Número de Serie</b>	131214	
<b>Procedencia</b>	CHINA	
<b>Identificación</b>	NO INDICA	
<b>Indicación</b>	DIGITAL	
<b>Marca</b>	MC	
<b>Modelo</b>	STYE-2000B	
<b>Número de Serie</b>	131214	
<b>Resolución</b>	0.01 / 0.1 kN (*)	
<b>Ubicación</b>	NO INDICA	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	2022-01-21	

Fecha de Emisión

2022-01-22

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LF - 024 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

### 7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.  
CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26,0 °C	26,0 °C
Humedad Relativa	62 % HR	62 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Código: PF-001 Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE 038-21A
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1774-2021

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 2.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**CA - LF - 024 - 2022**

 Área de Metrología  
 Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

**11. Resultados de Medición**

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	$F_i$ (kN)	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$F_3$ (kN)	$F_{Promedio}$ (kN)
10	100	100.0	99.0	100.0	99.8
20	200	199.0	200.5	201.3	200.2
30	300	298.8	300.4	299.3	299.7
40	400	397.4	399.4	398.8	398.6
50	500	495.8	501.8	502.4	500.5
60	600	597.1	597.4	597.9	597.7
70	700	696.1	696.7	695.7	696.6
80	800	798.9	799.1	799.5	799.1
90	900	898.6	900.1	896.6	898.5
100	1000	1001.0	1002.9	1000.5	1001.3
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo $F$ (kN)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre $U$ (k=2) (%)
	Exactitud $q$ (%)	Repetibilidad $b$ (%)	Reversibilidad $v$ (%)	Resol. Relativa $\sigma$ (%)	
100	0.21	1.00	-1.30	0.10	0.81
200	-0.08	1.15	0.25	0.05	0.75
300	0.12	0.53	0.07	0.03	0.63
400	0.34	0.50	0.10	0.03	0.61
500	-0.11	1.31	-0.06	0.02	0.85
600	0.39	0.13	-0.18	0.02	0.58
700	0.49	0.14	-0.14	0.01	0.59
800	0.11	0.07	0.02	0.01	0.58
900	0.17	0.38	0.16	0.01	0.60
1000	-0.13	0.25	0.20	0.01	0.58

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_0$ )	0.00 %
---	--------

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
 ☎ 913 028 622 - 913 028 623  
 ☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
 ✉ comercial@calibratec.com.pe  
 🏢 CALIBRATEC SAC

Anexo 9: Informe del análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Tres Tomas  
- Ferreñafe



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

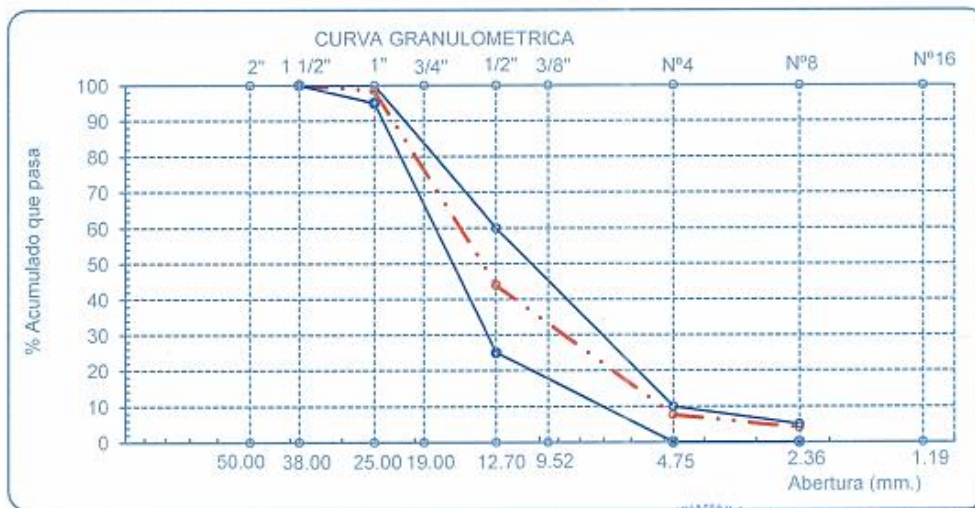


**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>,  
sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la  
ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Muestra** : Agregado Grueso **P. Inicial H.** 15011.5 **% de**  
**Cantera** : Tres Tomas - Ferreñafe **P. Inicial S.** 14958 **Humedad =** 0.36

Malla		(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Que Pasa	USO 56	
2"	50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	1.5	1.5	98.5	95.0	100.0
3/4"	19.00	14.6	16.0	84.0		
1/2"	12.70	40.0	56.0	44.0	25.0	60.0
3/8"	9.52	14.0	70.0	30.0		
Nº 04	4.75	22.4	92.4	7.6	0.0	10.0
Nº 08	2.36	3.6	96.0	4.0	0.0	5.0
Nº 16	1.19	2.1	98.2	1.8		
Fondo		1.8	97.9	2.1		
Tamaño Máximo		1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	19.00			



J. Giancarlo Salvador Terrones

Tesista



Anexo 10: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

**ENSAYO** : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado  
**REFERENCIA** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Grueso  
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

#### PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	18161.5
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	7432.5
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1365
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1360

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	19338.0
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8609.0
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1581
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1576

J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 11: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso de la cantera  
Tres Tomas - Ferreñafe



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

**ENSAYO** : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado  
**REFERENCIA** : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Grueso  
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	1025.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	1022.5
Peso de agua	g.	3.3
Peso de tara	g.	98.2
Peso neto muestra seca	g.	924.3
CONTENIDO DE HUMEDAD		% 0.36

J. Giancarlo Salvador Terrones

Tesista



*Anexo 12: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

**ENSAYO** : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.  
**REFERENCIA** : NTP 400.022

**Muestra** : Agregado Grueso  
**Cantera** : Tres Tomas - Ferreñafe

A.- Datos de la Grava

1.- Peso de la muestra seca al horno	g	1484
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	1500
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	g	1665
4.- Peso de la canastilla	g	731
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	g	934

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	g/cm <sup>3</sup>	2.622
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm <sup>3</sup>	2.650
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	2.698
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	1.08

J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 13: Informe del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

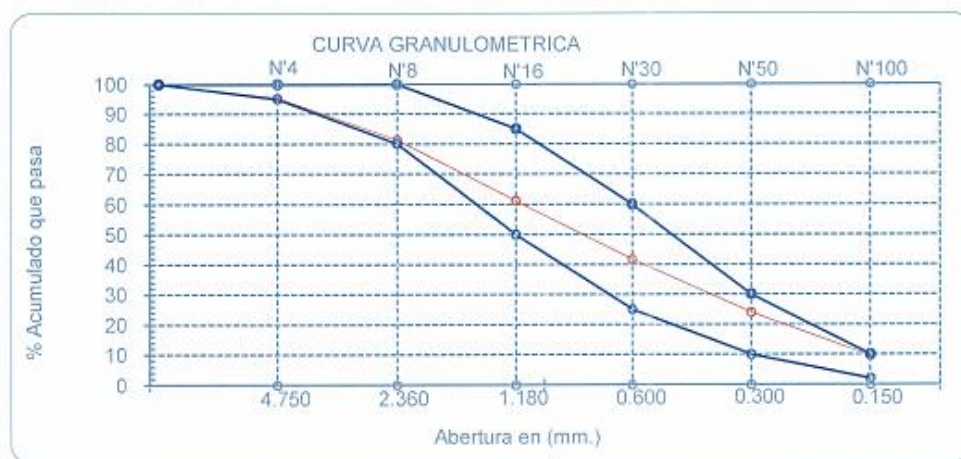


**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 500.0 **% de Humedad =** 1.96 **Modulo de Fineza:** 2.87  
**P. Inicial S.** 490.4

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					100	100
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	22.7	4.6	4.6	95.4	95	100
Nº 08	2.360	69.5	14.2	18.8	81.2	80	100
Nº 16	1.180	98.5	20.1	38.9	61.1	50	85
Nº 30	0.600	95.3	19.4	58.3	41.7	25	60
Nº 50	0.300	86.7	17.7	76.0	24.0	10	30
Nº 100	0.150	70.9	14.5	90.5	9.5	2	10
Fondo		46.8	9.5	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.871			
Abertura de malla de referencia				9.500			



  
J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 14: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

**ENSAYO** : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado  
**REFERENCIA** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Fino  
Cantera : La Victoria - Pátapo

#### PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		A
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g	19205.5
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	8476.5
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1557
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1527

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		A
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g	20453
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	9724
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1786
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1752

J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 15: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

**ENSAYO** : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado  
**REFERENCIA** : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Fino  
Cantera : La Victoria - Pátapo

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g	586.2
Peso muestra seca + peso de tara	g	576.6
Peso de agua	g	9.6
Peso de tara	g	86.2
Peso neto muestra seca	g	490.4
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.96

J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 16: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera  
La Victoria - Pátapo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Salvador Terrones José Giancarlo  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>,  
sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad  
de Chiclayo  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.  
REFERENCIA : NTP 400.022

Muestra : Agregado Fino  
Cantera : La Victoria - Pátapo

A.- Datos de la arena

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	g	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	1026.2
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	g	712.0
4.- Peso del Agua.	g	314.2
5.- Peso del Frasco	g	212.0
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	g	707.5
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	g	495.5
8.- Volumen del frasco.	cm <sup>3</sup>	500.0

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	g/cm <sup>3</sup>	2.667
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm <sup>3</sup>	2.691
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	2.733
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	0.91

J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesisista



### Anexo 17: Informe del ensayo de exudación del concreto patrón



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022  
**Ensayo** : "Método de ensayo normalizado para exudación de concreto"  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.077

EXUDACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN					
HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
15:10	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
15:20	0.5	0.5	0.04%	0.04%	0.0028
15:30	1.2	1.7	0.11%	0.15%	0.0068
15:40	1.9	3.6	0.17%	0.32%	0.0108
15:50	1.24	4.84	0.11%	0.43%	0.0070
16:20	0.5	5.34	0.04%	0.47%	0.0028
16:50	0.4	5.74	0.04%	0.51%	0.0023
17:20	0.2	5.94	0.02%	0.52%	0.0011



J. Giancarlo Salvador Terrones  
 Tesista



### Anexo 18: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 1%



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022  
**Ensayo** : "Método de ensayo normalizado para exudación de concreto"  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.077

GEB 1%					
HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
15:40	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
15:50	0.5	0.5	0.04%	0.04%	0.0028
16:00	0.45	0.95	0.04%	0.08%	0.0025
16:10	1.05	2	0.09%	0.18%	0.0059
16:20	1.25	3.25	0.11%	0.29%	0.0071
16:50	1.05	4.3	0.09%	0.38%	0.0059
17:20	0.35	4.65	0.03%	0.41%	0.0020
17:50	0.25	4.9	0.02%	0.43%	0.0014



  
J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 19: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 2%

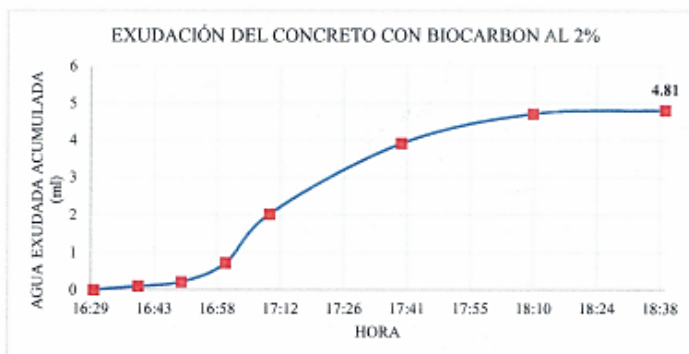


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022  
**Ensayo** : "Método de ensayo normalizado para exudación de concreto"  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.077

GEB 2%					
HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
16:30	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
16:40	0.1	0.1	0.01%	0.01%	0.0006
16:50	0.12	0.22	0.01%	0.02%	0.0007
17:00	0.5	0.72	0.04%	0.06%	0.0028
17:10	1.3	2.02	0.11%	0.18%	0.0074
17:40	1.9	3.92	0.17%	0.35%	0.0108
18:10	0.8	4.72	0.07%	0.42%	0.0045
18:40	0.09	4.81	0.01%	0.43%	0.0005



  
J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



Anexo 20: Informe del ensayo de exudación del concreto con biocarbón al 2.5%



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022  
**Ensayo** : "Método de ensayo normalizado para exudación de concreto"  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.077

GEB 2.5%					
HORA	VOLUMEN DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA EXUDADA ACUMULADA (ml)	AGUA NETA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	AGUA NETA ACUMULADA EN LA MEZCLA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (%)	VOLUMEN DE AGUA EXUDADA POR UNIDAD DE SUPERFICIE (ml/cm <sup>2</sup> )
16:50	INICIO DE ENSAYO	0	0.00%	0.00%	-
17:00	0.1	0.1	0.01%	0.01%	0.0006
17:10	0.4	0.5	0.04%	0.04%	0.0023
17:20	0.6	1.1	0.05%	0.10%	0.0034
17:30	1.2	2.3	0.11%	0.20%	0.0068
18:00	1.4	3.7	0.12%	0.33%	0.0079
18:30	0.45	4.15	0.04%	0.37%	0.0025
19:00	0.4	4.55	0.04%	0.40%	0.0023



J. Giancarlo Salvador Terrones  
Tesista



## Anexo 21: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto patrón


**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022

**Ensayo** : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración.

**Referencia** : Norma N.T.P. 339.082

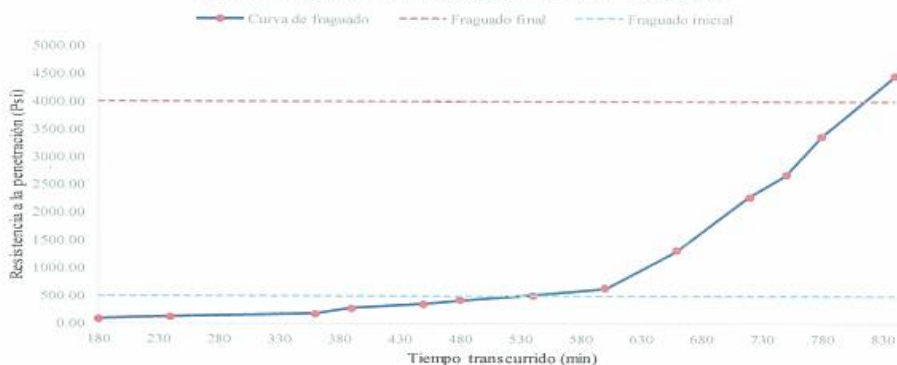
**Identificación** : Concreto Patrón f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>

**Temperatura** : 24 ± 2°C

**Hora de inicio** : 09:00:00

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
12:00	03:00	180	645	1	38	84	83.80
13:00	04:00	240	645	1	54	119	119.08
15:00	06:00	360	645	1	80	176	176.41
15:30	06:30	390	323	1/2	64	141	281.82
16:30	07:30	450	161	1/4	40	88	353.37
17:00	08:00	480	161	1/4	48	106	424.05
18:00	09:00	540	161	1/4	58	128	512.39
19:00	10:00	600	161	1/4	72	159	636.07
20:00	11:00	660	65	1/10	60	132	1312.92
21:00	12:00	720	32	1/20	51	112	2266.84
21:30	12:30	750	32	1/20	60	132	2666.87
22:00	13:00	780	16	1/40	38	84	3378.04
23:00	14:00	840	16	1/40	50	110	4444.79

Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido



**Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI:**      08:09      Horas  
**Tiempo Fraguado Final 4000 PSI:**      13:30      Horas

German Oscar Gastelo Chirinos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

## Anexo 22: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 1%


**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022

**Ensayo** : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.

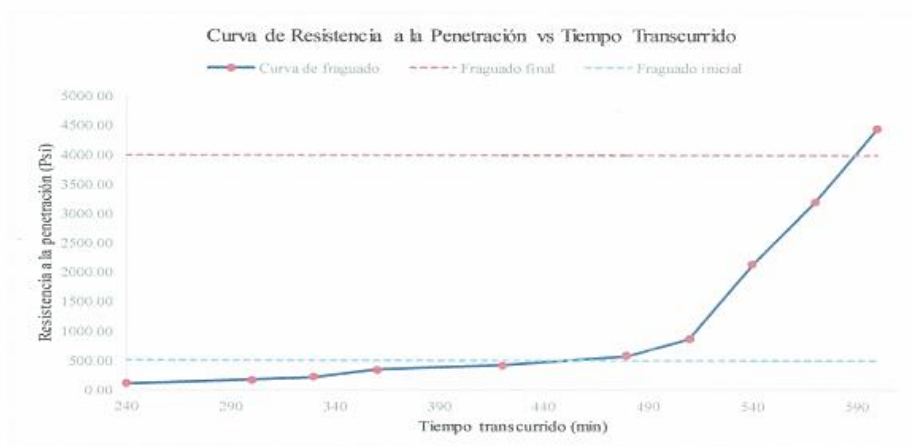
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.082

**Identificación** : Concreto + Biocarbón 1%

**Temperatura** :  $24 \pm 2^\circ\text{C}$

**Hora de inicio** : 10:00:00

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
14:00	04:00	240	645	1	50	110	110.26
15:00	05:00	300	645	1	80	176	176.41
15:30	05:30	330	323	1/2	52	115	228.98
16:00	06:00	360	161	1/4	40	88	353.37
17:00	07:00	420	161	1/4	48	106	424.05
18:00	08:00	480	161	1/4	66	146	583.07
18:30	08:30	510	65	1/10	40	88	875.28
19:00	09:00	540	32	1/20	48	106	2133.50
19:30	09:30	570	16	1/40	36	79	3200.25
20:00	10:00	600	16	1/40	50	110	4444.79



**Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI:** 07:22 Horas  
**Tiempo Fraguado Final 4000 PSI:** 09:45 Horas

German Oscar Gastelo Cárminos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

## Anexo 23: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 2%



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022

**Ensayo** : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración.

**Referencia** : Norma N.T.P. 339.082

**Identificación** : Concreto + Biocarbón 2%

**Temperatura** :  $24 \pm 2^\circ\text{C}$

**Hora de inicio** : 11:00:00

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
15:00	04:00	240	645	1	40	88	88.21
16:00	05:00	300	645	1	58	128	127.90
16:30	05:30	330	323	1/2	78	172	343.47
17:00	06:00	360	161	1/4	40	88	353.37
18:00	07:00	420	161	1/4	58	128	512.39
18:30	07:30	450	65	1/10	40	88	875.28
19:00	08:00	480	32	1/20	40	88	1777.92
19:30	08:30	510	16	1/40	32	71	2844.67
20:00	09:00	540	16	1/40	41	90	3644.73
20:30	09:30	570	16	1/40	52	115	4622.58



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 06:50 Horas  
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 09:20 Horas

German Oscar Gastelo Chirinos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

## Anexo 24: Informe del ensayo de tiempo de fraguado del concreto + Biocarbón al 2.5%


**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque,  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022

**Ensayo** : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración.

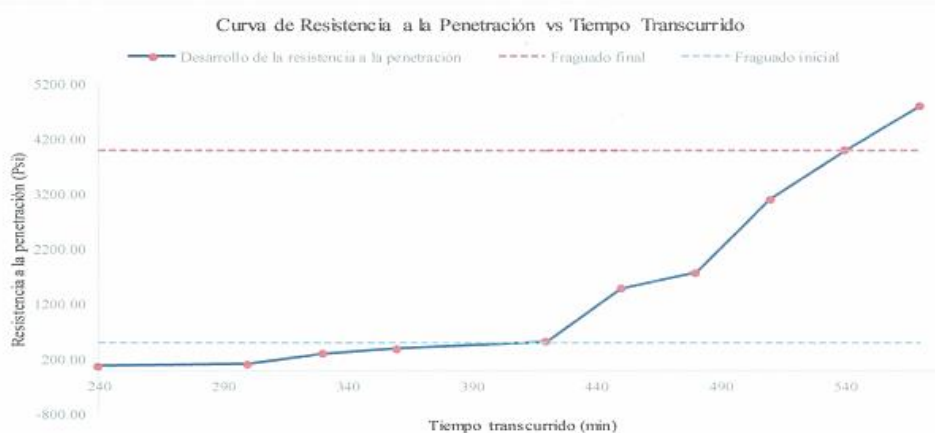
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.082

**Identificación** : Concreto + Biocarbón 2.5%

**Temperatura** :  $24 \pm 2^\circ\text{C}$

**Hora de inicio** : 13:00:00

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Área (mm <sup>2</sup> )	Área (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:00	04:00	240	645	1	38	84	83.80
18:00	05:00	300	645	1	55	121	121.28
18:30	05:30	330	323	1/2	70	154	308.25
19:00	06:00	360	161	1/4	45	99	397.55
20:00	07:00	420	161	1/4	60	132	530.06
20:30	07:30	450	65	1/10	68	150	1487.98
21:00	08:00	480	32	1/20	40	88	1777.92
21:30	08:30	510	16	1/40	35	77	3111.35
22:00	09:00	540	16	1/40	45	99	4000.31
22:30	09:30	570	16	1/40	54	119	4800.37



**Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI:** 06:40 Horas  
**Tiempo Fraguado Final 4000 PSI:** 09:00 Horas

German Oscar Gastelo Chirinos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

☎ 964423859 - 943011231

📍 Ca. José Galvez N° 120

✉ fermatisac@gmail.com

🌐 www.fermatisac.cf

Anexo 25: Informe del ensayo de compresión del concreto patrón

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

**Ensayo** : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> Promedio	PORCENTAJE DE f <sub>c</sub> DE DISEÑO (%)
CURADO HUMEDO								
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	03/11/22	7	15	26690	151	151.03	71.92
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	03/11/22	7	15	27750	157		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	03/11/22	7	15	25630	145		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	33160	188	185.61	88.39
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	31140	176		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	34100	193	213.53	101.68
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	37610	213		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	37930	215		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	37660	213	245.16	116.74
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	22/12/22	56	15	46770	265		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	22/12/22	56	15	42670	241		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	22/12/22	56	15	40530	229		
CURADO AL AIRE LIBRE								
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	29330	166	153.00	72.86
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	25650	145		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	10/11/22	14	15	26130	148		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	30770	174	180.97	86.18
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	32150	182		
CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	27/10/22	24/11/22	28	15	33020	187		



964423859 - 943011231  
 Ca. José Galvez N° 120



fermatasa@gmail.com  
 www.fermatasac.cf

German Oscar Gastelo Chirinos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Don Carlos Pineda Ojeda Agüero  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES


Anexo 26: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 1%

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Enero del 2023  
**Ensayo** : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> Promedio	PORCENTAJE DE f <sub>c</sub> DE DISEÑO (%)
CURADO HUMEDO								
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	30240	171	167.24	79.64
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	29180	165		
GEB 1%	27/10/22	03/11/22	7	15	29240	165		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	35560	201	193.61	92.19
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	33160	188		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	33920	192		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	40280	228	230.69	109.85
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	39650	224		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	42370	240		
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15	49730	281	273.98	130.47
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15	47560	269		
GEB 1%	27/10/22	22/12/22	56	15.0	47960	271		
CURADO AL AIRE LIBRE:								
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	28880	163	164.82	78.49
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	29320	166		
GEB 1%	27/10/22	10/11/22	14	15	29180	165		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	33130	187	191.12	91.01
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	34100	193		
GEB 1%	27/10/22	24/11/22	28	15	34090	193		

  
 German Oscar Gastelo Jiminos  
 TECNOLÓGICO DE ENSAYOS DE MATERIALES



  
 Juan Carlos Forno Ojeda Agosto  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP: 123351



964423869 - 943011231  
Ca. José Galvez N° 120



fermatiscac@gmail.com  
www.fermatiscac.cf



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Anexo 27: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 2%

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

**Ensayo** : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
CURADO HUMEDO								
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	33210	188	164.14	78.16
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	26690	151		
GEB 2%	28/10/22	04/11/22	7	15	27120	153		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34380	195	195.34	93.02
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34600	196		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	34580	196		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	41790	236	248.97	118.56
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	43610	247		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	46590	264		
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50050	283	283.85	135.17
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50310	285		
GEB 2%	28/10/22	23/12/22	56	15	50120	284		
CURADO AL AIRE LIBRE								
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	26320	149	146.71	69.86
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	25520	144		
GEB 2%	28/10/22	11/11/22	14	15	25940	147		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	34000	192	179.31	85.39
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	30240	171		
GEB 2%	28/10/22	25/11/22	28	15	30820	174		

German Oscar Gastelú Quiñones  
 T.E.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Juan Carlos Forno Ojeda Rojas  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. C.I.P. 123351

964423859 - 943011231  
 Ca. José Galvez N° 120

fermatisa@gmail.com  
 www.fermatisa.com

Anexo 28: Informe del ensayo de compresión del concreto + Biocarbón al 2.5%

Tesista : Salvador Terrones José Giancarlo  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Pro v. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

Ensayo : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas  
 Referencia 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio	PORCENTAJE DE f'c DE DISEÑO (%)
CURADO HUMEDO								
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	26110	148	139.00	66.19
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	22360	127		
GEB 2.5%	28/10/22	04/11/22	7	15	25220	143		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27630	156	156.73	74.63
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27670	157		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	27790	157		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	36750	208	202.47	96.42
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	35570	201		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	35020	198		
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	41010	232	231.56	110.27
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	40800	231		
GEB 2.5%	28/10/22	23/12/22	56	15	40950	232		
CURADO AL AIRE LIBRE								
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	24710	140	136.83	68.16
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	23140	131		
GEB 2.5%	28/10/22	11/11/22	14	15	24690	140		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	24900	141	145.47	69.27
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	27070	153		
GEB 2.5%	28/10/22	25/11/22	28	15	25150	142		

German Oscar Gastelo Chirinos  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Juan Carlos Forno Ojeda Agesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP: 123351

### Anexo 29: Informe del ensayo de flexión del concreto patrón

**Tesista** : Salvador Terrones José Giancarlo  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

**Ensayo** : Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz del tramo  
**Referencia** : Norma N.T.P. 339.078

DENOMINACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	CARGA (N)	ANTIGÜEDAD DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) PROMEDIO
CURADO HUMEDO							
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	24909	7	3.32	33.87	34.22
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	24026	7	3.20	32.67	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	3/11/2022	26576	7	3.54	36.13	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	30204	28	4.03	41.07	39.95
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	28439	28	3.79	38.67	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	29518	28	3.94	40.13	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	34421	56	4.59	46.80	46.40
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	34127	56	4.55	46.40	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	22/12/2022	33833	56	4.51	46.00	
CURADO AL AIRE LIBRE							
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	20104	28	2.68	27.33	28.27
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	21869	28	2.92	29.73	
CONCRETO PATRÓN	27/10/2022	24/11/2022	20398	28	2.72	27.73	

Fermati Oscar Gastón Chirinos  
 TECNICIANO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Juan Carlos Firme Ojeda Agüero  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231  
 Ca. José Gálvez N° 120

fermatisac@gmail.com  
 www.fermatisac.cl

**FERMATI**  
 Constructora y Servicios Generales

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Anexo 30: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 1%

Tesista : Salvador Terrones José Giancarlo  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

Ensayo : Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz del tramo  
 Referencia : Norma N.T.P. 339.078

DENOMINACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	CARGA (N)	ANTIGÜEDAD DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) PROMEDIO
CURADO HUMEDO							
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	23830	7	3.18	32.40	30.53
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	21182	7	2.82	28.80	
GEB 1%	27/10/2022	3/11/2022	22359	7	2.98	30.40	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	22359	28	2.98	30.40	35.07
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	28047	28	3.74	38.13	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	26968	28	3.60	36.67	
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	28439	56	3.79	38.67	41.15
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	31479	56	4.20	42.80	
GEB 1%	27/10/2022	22/12/2022	30891	56	4.12	42.00	
CURADO AL AIRE LIBRE							
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	20496	28	2.73	27.87	29.87
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	23340	28	3.11	31.73	
GEB 1%	27/10/2022	24/11/2022	22065	28	2.94	30.00	

German Oscar García Quiñones  
 I.E.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



Yidan Carlos Forno Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP: 123351

*Anexo 31: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 2%*

Tesista : Salvador Terrones José Giancarlo  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

Ensayo : Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz del tramo  
Referencia : Norma N.T.P. 339.078

DENOMINACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	CARGA (N)	ANTIGÜEDAD DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) PROMEDIO
CURADO HUMEDO							
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	25301	7	3.37	34.40	34.18
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	25497	7	3.40	34.67	
GEB 2%	28/10/2022	4/11/2022	24615	7	3.28	33.47	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	28145	28	3.75	38.27	37.02
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	25595	28	3.41	34.80	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	27949	28	3.73	38.00	
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	26674	56	3.56	36.27	37.87
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	28537	56	3.80	38.80	
GEB 2%	28/10/2022	23/12/2022	28341	56	3.78	38.53	
CURADO AL AIRE LIBRE							
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	13729	28	1.83	18.67	24.04
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	19907	28	2.65	27.07	
GEB 2%	28/10/2022	25/11/2022	19417	28	2.59	26.40	

German Uñari Gastelo Firmos  
 FIC: 1483410078 ENSAYOS DE MATERIALES



Jhón Carlos Firmo Oyeda Agüesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP: 123351



964423859 - 943011231  
 Ca. José Gálvez N° 120



fermatiscac@gmail.com  
 www.fermatiscac.cf

Anexo 32: Informe del ensayo de flexión del concreto + Biocarbón al 2.5%

Tesista : Salvador Terrones José Giancarlo  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm2, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Enero del 2023

Ensayo : Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz del tramo  
 Referencia : Norma N.T.P. 339.078

DENOMINACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	CARGA (N)	ANTIGÜEDAD DEL ESPÉCIMEN	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm2)	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm2) PROMEDIO
CURADO HUMEDO							
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	25203	7	3.36	34.27	33.33
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	24026	7	3.20	32.67	
GEB 2.5%	28/10/2022	4/11/2022	24320	7	3.24	33.07	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	27851	28	3.71	37.87	35.33
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	24517	28	3.27	33.33	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	25595	28	3.41	34.80	
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28439	56	3.79	38.67	28.90
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28341	56	3.78	38.53	
GEB 2.5%	28/10/2022	23/12/2022	28243	56	3.77	38.40	
CURADO AL AIRE LIBRE							
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	14808	28	1.97	20.13	21.33
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	16769	28	2.24	22.80	
GEB 2.5%	28/10/2022	25/11/2022	15494	28	2.07	21.07	

*Germán Oscar Castañeda Quirinos*  
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



*Alfonso Carlos Primo Ojeda Aguirre*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP: 123351

Anexo 33: Informe del ensayo de módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con biocarbón



Prolongación Bolognesi Km. 3,5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswycerl@gmail.com

Solicitud de Ensayo : 0105A-23/ LEMS W&C  
Solicitante : JOSÉ GIANCARLO SALVADOR TERRONES  
Proyecto / Obra : Tesis: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque  
Fecha de Apertura : Lunes, 01 de mayo del 2023.  
Inicio de Ensayo : Lunes, 29 de mayo del 2023.  
Fin de Ensayo : Lunes, 29 de mayo del 2023.  
Ensayo : COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión). Diseño de concreto (Patrón 210kg/cm<sup>2</sup>)DM1 - sustitucion (P)0% al cemento ó (CM)0% al agregado fino (arena gruesa)  
Referencia : ASTM C-469

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2 (S_2)$	$E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio $E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup>	01/05/2023	29/05/2023	28	212.36	85	14.69555	0.000374	217098	218690.20
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup>	01/05/2023	29/05/2023	28	212.93	85	14.73354	0.000372	218862	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup>	01/05/2023	29/05/2023	28	214.15	86	14.81764	0.000372	220111	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 1%	01/05/2023	29/05/2023	28	220.59	88	15.16325	0.000376	224103	223605.68
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 1%	01/05/2023	29/05/2023	28	217.14	87	14.92672	0.000376	220607	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 1%	01/05/2023	29/05/2023	28	232.04	93	14.17930	0.000398	226108	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2%	01/05/2023	29/05/2023	28	228.86	92	15.72135	0.000383	227725	232191.35
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2%	01/05/2023	29/05/2023	28	238.20	95	14.58277	0.000398	231564	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2%	01/05/2023	29/05/2023	28	249.56	100	15.23892	0.000406	237285	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2.5%	01/05/2023	29/05/2023	28	207.46	83	12.66592	0.000391	205985	215113.29
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2.5%	01/05/2023	29/05/2023	28	211.05	84	14.53531	0.000000	220679	
PC - $f_c$ = 210 kg/cm <sup>2</sup> + GEB 2.5%	01/05/2023	29/05/2023	28	209.83	84	14.41504	0.000000	218675	

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
LEMS W&C EIRL.  
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
LEMS W&C EIRL.  
GUÉNEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246984

## Anexo 34: Informe del ensayo de fisuración del concreto patrón



Certificado INDECOPI N° 00137704 RNP Servicios 30006589

Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Chiclayo - Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswycinf.com

Solicitud de ensayo	:	<b>0105A-23/ LEMS W&amp;C</b>
Solicitante	:	JOSE GIANCARLO SALVADOR TERRONES
Proyecto / Obra	:	Tesis: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> , sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo
Ubicación	:	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura	:	Lunes, 01 de mayo del 2023.
Inicio de ensayo	:	Lunes, 29 de mayo del 2023.
Fin de ensayo	:	Martes, 30 de mayo del 2023.
<b>ENSAYO</b>	:	Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
<b>NORMA</b>	:	ASTM C1579 - 06
<b>Mezcla de concreto</b>	:	Convencional, f'c = 210kg/cm <sup>2</sup> - Cemento PACASMAYO
<b>R a/c diseño</b>	:	0.553
<b>Dosificación</b>	:	1: 2.02: 2.45: 23.5lb/bls
<b>Cantidad por m<sup>3</sup></b>	:	386.69 kg; 781.76 kg; 946.10 kg; 213.74 l/m <sup>3</sup> de concreto
<b>Asentamiento</b>	:	3.9 pulg (99.06mm)
<b>Adición</b>	:	No
<b>Muestras</b>	:	Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
<b>Instrumentos</b>	:	Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badilejo
<b>Temperatura</b>	:	23 ± 2°C
<b>Velocidad de viento</b>	:	4.7 m/s
<b>Humedad Relativa</b>	:	65%
<b>Tasa de evaporación</b>	:	1.0 kg / m <sup>2</sup> · H
<b>Hora de Inicio</b>	:	14:00:00 pm

PANEL DE CONTROL N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
29/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.31	0.33
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.35	
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.33	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.47
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.48	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.47	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.51	0.54
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.56	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.54	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.54</b>

PANEL DE CONTROL N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
29/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.27	0.27
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.24	
29/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.31	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.41	0.41
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.36	
30/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.45	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.52	0.53
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.50	
30/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.57	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.53</b>

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

**0.535** mm

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246984

## Anexo 35: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 1%



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswycrl.com

Solicitud de ensayo	:	<b>0105A-23/ LEMS W&amp;C</b>
Solicitante	:	<b>JOSÉ GIANCARLO SALVADOR TERRONES</b>
Proyecto / Obra	:	Tesis: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> , sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo
Ubicación	:	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura	:	Lunes, 01 de mayo del 2023.
Inicio de ensayo	:	Martes, 30 de mayo del 2023.
Fin de ensayo	:	Miércoles, 31 de mayo del 2023.
<b>ENSAYO</b>	:	Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
<b>NORMA</b>	:	ASTM C1579 - 06
<b>Mezcla de concreto</b>	:	<b>Experimental 1% GEB, f'c = 210kg/cm<sup>2</sup>- Cemento PACASMAYO</b>
<b>R a/c diseño</b>	:	0.553
<b>Dosificación</b>	:	0.99: 0.01: 2.02: 2.45: 23.5lb/bts
<b>Cantidad por m<sup>3</sup></b>	:	383 kg; 3.87 kg; 781.76 kg; 946.10 kg; 213.74 l /m <sup>3</sup> de concreto
<b>Asentamiento</b>	:	3.45 pulg (87.63mm)
<b>Adición</b>	:	Biocarbón de restos de madera: GEB 1%
<b>Muestras</b>	:	Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
<b>Instrumentos</b>	:	Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badilejo
<b>Temperatura</b>	:	23 ± 2°C
<b>Velocidad de viento</b>	:	4.7 m/s
<b>Humedad Relativa</b>	:	65%
<b>Tasa de evaporación</b>	:	1.0 kg / m <sup>2</sup> · H
<b>Hora de inicio</b>	:	14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 1% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
30/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.28	0.29
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.29	
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.31	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.36	0.37
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.39	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.48	0.49
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.49	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.50	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.49</b>

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 1% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
30/05/2023	14:00	0.00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.32	0.30
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.30	
30/05/2023	20:00	6.00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.29	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.41	0.38
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.37	
31/05/2023	12:00	22.00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.35	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.51	0.48
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.47	
31/05/2023	14:00	24.00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.45	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.48</b>

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

**0.485 mm**

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

**WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR**  
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

**MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES**  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246984

### Anexo 36: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 2%



Proyección Biogénesis Kms. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswycir.com

Solicitud de ensayo	:	<b>0105A-23/ LEMS W&amp;C</b>
Solicitante	:	<b>JOSE GIANCARLO SALVADOR TERRONES</b>
Proyecto / Obra	:	Tesis: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> , sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo
Ubicación	:	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura	:	Lunes, 01 de mayo del 2023.
Inicio de ensayo	:	Miércoles, 31 de mayo del 2023.
Fin de ensayo	:	Jueves, 01 de junio del 2023.
<b>ENSAYO</b>	:	Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero) ASTM C1579 - 06
<b>NORMA</b>	:	ASTM C1579 - 06
Mezcla de concreto	:	Experimental 2% GEB, f'c = 210kg/cm <sup>2</sup> - Cemento PACASMAYO
R a/c diseño	:	0.553
Dosificación	:	0.98: 0.02: 2.02: 2.45: 23.5lt/bls
Cantidad por m <sup>3</sup>	:	379 kg; 7.73 kg; 781.76 kg; 946.10 kg; 213.74 lt /m <sup>3</sup> de concreto
Asentamiento	:	3.0 pulg (76.20mm)
Adición	:	Biocarbón de restos de madera: GEB 2%
Muestras	:	Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
Instrumentos	:	Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badilejo
Temperatura	:	23 ± 2°C
Velocidad de viento	:	4.7 m/s
Humedad Relativa	:	65%
Tasa de evaporación	:	1.0 kg / m <sup>2</sup> · H
Hora de Inicio	:	14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
31/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.25	0.27
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.27	
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.29	
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.34	0.36
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.38	
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.41	0.43
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.44	
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.43	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.43</b>

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
31/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A'-A'	0.21	0.25
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B'-B'	0.26	
31/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C'-C'	0.29	
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A'-A'	0.30	0.34
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B'-B'	0.34	
01/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C'-C'	0.37	
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A'-A'	0.46	0.48
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B'-B'	0.48	
01/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C'-C'	0.50	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.48</b>

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

**0.455 mm**

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

**LEMS W&C EIRL.**  
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
ING. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

**LEMS W&C EIRL.**  
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246984

### Anexo 37: Informe del ensayo de fisuración del concreto + Biocarbón al 2.5%



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswyc.com

Solicitud de ensayo	:	<b>0105A-23/ LEMS W&amp;C</b>
Solicitante	:	<b>JOSÉ GIANCARLO SALVADOR TERRONES</b>
Proyecto / Obra	:	Tesis: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto $f_c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> , sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo
Ubicación	:	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura	:	Lunes, 01 de mayo del 2023.
Inicio de ensayo	:	Jueves, 01 de junio del 2023.
Fin de ensayo	:	Viernes, 02 de junio del 2023.
<b>ENSAYO</b>	:	Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
<b>NORMA</b>	:	ASTM C1579 - 06
<b>Mezcla de concreto</b>	:	<b>Experimental 2.5% GEB, <math>f_c = 210\text{kg/cm}^2</math>- Cemento PACASMAYO</b>
<b>R a/c diseño</b>	:	0.553
<b>Dosificación</b>	:	0.975: 0.025: 2.02: 2.45: 23.5lt/bts
<b>Cantidad por m3</b>	:	377 kg; 9.67 kg; 781.76 kg; 946.10 kg; 213.74 lt /m3 de concreto
<b>Asentamiento</b>	:	2.98 pulg (75.69mm)
<b>Adición</b>	:	Biocarbón de restos de madera: GEB 2.5%
<b>Muestras</b>	:	Panel de Concreto en moldes profundidad de $100 \pm 5$ mm y dimensiones rectangulares de $355 \pm 10$ mm por $560 \pm 15$ mm
<b>Instrumentos</b>	:	Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro Varilla Normalizada de punta semiesférica, Marfillo de goma, Badilejo
<b>Temperatura</b>	:	$23 \pm 2^\circ\text{C}$
<b>Velocidad de viento</b>	:	4.7 m/s
<b>Humedad Relativa</b>	:	65%
<b>Tasa de evaporación</b>	:	1.0 kg / m <sup>2</sup> · H
<b>Hora de Inicio</b>	:	14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2.5% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
01/06/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.35	0.35
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.34	
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.36	
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.45
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.43	
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.47	
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.50	0.50
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.48	
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.52	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.50</b>

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL GEB 2.5% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m <sup>2</sup> )	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
01/06/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.31	0.36
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.42	
01/06/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.36	
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.40	0.47
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.54	
02/06/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.46	
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.44	0.52
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.60	
02/06/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.51	
<b>Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)</b>										<b>0.52</b>

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

**0.510** mm

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

 **LEMS W&C EIRL.**  
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

 **LEMS W&C EIRL.**  
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246904

Anexo 38: Informe del ensayo de densidad del biocarbón



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceirl@gmail.com

Solicitante : JOSÉ GIANCARLO SALVADOR TERRONES  
 Proyecto : **Tesis: "Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del Concreto f'c 210 Kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo parcialmente el cemento por biocarbón de restos de madera, en la ciudad de Chiclayo".**  
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Pimentel, Depart. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : 07 de octubre del 2022  
 ENSAYO : CEMENTOS. Metodo de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland  
 NORMA : NTP 334.005

Muestra: **BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA.**

<b>Biocarbón</b>	(gr)	30
<b>Vol.inicial kerosene</b>	(ml)	0.5
<b>Vol.final desplazado kerosene</b>	(ml)	18.2
<b>Densidad Biocarbón de resto de madera</b>	(g/ml)	<b>1.69</b>

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
 **LEMS W&C EIRL.**  
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
 **LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246994

## Anexo 39: Análisis de composición química del biocarbón



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABORATORIO LABICER  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0929 – 22 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JOSE GIANCARLO SALVADOR TERRONES
  - 1.2 DNI : 73825496
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 16 / 08 / 2022
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 18 / 08 / 2022
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 25 / 08 / 2022
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA
  - 4.2 TESIS : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM2, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL CEMENTO POR BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA, EN LA CIUDAD DE CHICLAYO.
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22°C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA. SHIMADZU, EDX 800HS.
8. **RESULTADOS**
  - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % <sup>(1)</sup>	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	61.937	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva <sup>(2)</sup>
Potasio, K	21.285	
Magnesio, Mg	8.007	
Azufre, S	2.238	
Fósforo, P	2.175	
Hierro, Fe	1.683	
Silicio, Si	1.171	
Terbio, Tb	0.0428	
Estroncio, Sr	0.0428	
Cinc, Zn	0.242	
Cobre, Cu	0.171	
Manganeso, Mn	0.153	
Rubidio, Rb	0.081	

<sup>(1)</sup> Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

<sup>(2)</sup> Método utilizado aceptado por el solicitante.



## 8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % <sup>(1,2)</sup>	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	60.217	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva <sup>(3)</sup>
Óxido de potasio, K <sub>2</sub> O	19.023	
Óxido de Magnesio, MgO	7.290	
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	4.554	
Óxido de fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.878	
Óxido de silicio, SiO <sub>2</sub>	2.132	
Óxido de hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.607	
Óxido de estroncio, SrO	0.384	
Óxido de terbio, Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0.359	
Óxido de cinc, ZnO	0.209	
Óxido de cobre, CuO	0.147	
Óxido de manganeso, MnO	0.133	
Óxido de rubidio, Rb <sub>2</sub> O	0.066	

<sup>(1)</sup> Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

<sup>(2)</sup> Resultados expresados en óxidos según pedido del solicitante.

<sup>(3)</sup> Método utilizado aceptado por el solicitante

## 9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Bäch. Fabio Jurado  
Analista  
LABICER -UNI



  
M.Sc. Ily Mariú Maza Mejía  
Responsable de análisis  
Jefe de Laboratorio  
CQP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO



FIGURA N°1. MUESTRA DE BIOCARBÓN DE RESTOS DE MADERA.



FIGURA N°2. ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA.



Anexo 40: Evidencia visual del proceso de extracción del biocarbón

**EXTRACCIÓN DEL BIOCARBÓN**



Figura 72: Planta de producción de biocarbón



Figura 73: Ramas de gran tamaño sacadas del horno pirolítico



Figura 74: Secado del biocarbón al aire libre



Figura 75: Biocarbón despues de ser molido



Figura 76: Tesista tamizando el biocarbón



Figura 77: Agregando porcentaje de biocarbón a la mezcla de concreto

Fuente: Propia

*Anexo 41: Evidencia visual del asentamiento del concreto*

**ENSAYO DE ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO**

Concreto patrón



*Figura 78: Asentamiento del concreto patrón*

GEB al 1%



*Figura 79: Asentamiento del GEB del 1%*

GEB al 2%



*Figura 80: Asentamiento del GEB del 2%*

GEB al 2.5%



*Figura 81: Asentamiento del GEB del 2.5%*

*Fuente: Propia*

Anexo 42: Evidencia visual de peso unitario del concreto

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO**

Concreto Patrón



Figura 82: Peso unitario del concreto patrón

GEB al 1%



Figura 83: Peso unitario del GEB al 1%

GEB al 2%



Figura 84: Peso unitario del GEB al 2%

GEB al 2.5%



Figura 85: Peso unitario del GEB al 2.5%

Fuente: Propia

*Anexo 43: Evidencia visual del ensayo de exudación del concreto***ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO**

*Figura 86: Tesista realizando el ensayo de exudación*



*Figura 87: Tomando medidas del agua exudada de la mezcla*



*Figura 88: Exudación de la mezcla del concreto patrón y muestra con biocarbón*

*Fuente: Propia*

Anexo 44: Evidencia visual del tiempo de fraguado del concreto

**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO**



*Figura 89: Tamizado de la mezcla de concreto*



*Figura 90: Penetración de la aguja al concreto*







*Figura 91: Tesista agregando biocarbón a la mezcladora de concreto*



*Figura 92: Acomodando la aguja que penetre de manera vertical la mezcla*

*Fuente: Propia*

*Anexo 45: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto patrón con curado húmedo*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra patrón (curado húmedo)	
	
<p><i>Figura 93: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (1)</i></p>	<p><i>Figura 94: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 95: Capacidad de carga a los 7 días para el concreto patrón (3)</i></p>	<p><i>Figura 96: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra patrón (curado húmedo)



*Figura 97: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (2)*



*Figura 98: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (3)*



*Figura 99: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (1)*



*Figura 100: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (2)*

*Fuente: Propia*

## Muestra patrón (curado húmedo)



*Figura 101: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (3)*



*Figura 102: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (1)*







*Figura 103: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (2)*



*Figura 104: Capacidad de carga a los 56 días para el concreto patrón (3)*

*Fuente: Propia*

*Anexo 46: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 1% con curado húmedo*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra con Biocarbón al 1% (curado húmedo)	
	
<p><i>Figura 105: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 1% (1)</i></p>	<p><i>Figura 106: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 1% (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 107: Falla del concreto a los 7 días para el GEB al 1% (2)</i></p>	<p><i>Figura 108: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 1% (curado húmedo)



Figura 109: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (2)



Figura 110: Falla del concreto a los 14 días para el GEB al 1% (3)



Figura 111: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (1)



Figura 112: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (2)

Fuente: Propia

Muestra con Biocarbón al 1% (curado húmedo)



Figura 113: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (3)



Figura 114: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 1% (1)







Figura 115: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 1% (2)



Figura 116: Falla del concreto a los 56 días para el GEB al 1% (3)

Fuente: Propia

Anexo 47: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2%  
con curado húmedo

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra con Biocarbón al 2% (curado húmedo)	
	
<p><i>Figura 117: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2% (1)</i></p>	<p><i>Figura 118: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2% (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 119: Falla del concreto a los 7 días para el GEB al 2% (2)</i></p>	<p><i>Figura 120: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 2% (curado húmedo)



*Figura 121: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (2)*



*Figura 122: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (3)*



*Figura 123: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (1)*



*Figura 124: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (2)*

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 2% (curado húmedo)



*Figura 125: Falla del concreto a los 28 días para el GEB al 2% (3)*



*Figura 126: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2% (1)*







*Figura 127: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2% (2)*



*Figura 128: Falla del concreto a los 56 días para el GEB al 2% (3)*

*Anexo 48: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado húmedo*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado húmedo)	
	
<p><i>Figura 129: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (1)</i></p>	<p><i>Figura 130: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 131: Capacidad de carga a los 7 días para el GEB al 2.5% (3)</i></p>	<p><i>Figura 132: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado húmedo)



Figura 133: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (2)



Figura 134: Falla del concreto a los 14 días para el GEB al 2.5% (3)



Figura 135: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (1)



Figura 136: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (2)

Fuente: Propia

Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado húmedo)



*Figura 137: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (3)*



*Figura 138: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (1)*







*Figura 139: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (2)*



*Figura 140: Capacidad de carga a los 56 días para el GEB al 2.5% (3)*

*Anexo 49: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto patrón con curado al aire libre.*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra patrón (curado al aire libre)	
	
<p><i>Figura 141: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (1)</i></p>	<p><i>Figura 142: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 143: Capacidad de carga a los 14 días para el concreto patrón (3)</i></p>	<p><i>Figura 144: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra patrón (curado al aire libre)



Figura 145: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (2)



Figura 146: Capacidad de carga a los 28 días para el concreto patrón (3)

Fuente: Propia

Anexo 50: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 1% con curado al aire libre.

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Muestra con Biocarbón al 1% (curado al aire libre)



Figura 147: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (1)



Figura 148: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 1% (2)

Fuente: Propia

Muestra con Biocarbón al 1% (curado al aire libre)



Figura 149: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (1)



Figura 150: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 1% (2)

Fuente: Propia

Anexo 51: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2% con curado al aire libre.

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Muestra con Biocarbón al 2% (curado al aire libre)



Figura 151: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (1)



Figura 152: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2% (2)

Fuente: Propia

Muestra con Biocarbón al 2% (curado al aire libre)



*Figura 153: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (1)*






*Figura 154: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (2)*



*Figura 155: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2% (3)*

*Fuente: Propia*

Anexo 52: Evidencia visual de la resistencia a compresión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado al aire libre.

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado al aire libre)	
	
<p><i>Figura 156: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (1)</i></p>	<p><i>Figura 157: Capacidad de carga a los 14 días para el GEB al 2.5% (2)</i></p>
	
<p><i>Figura 158: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (1)</i></p>	<p><i>Figura 159: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (2)</i></p>

*Fuente: Propia*



*Figura 160: Capacidad de carga a los 28 días para el GEB al 2.5% (3)*

*Fuente: Propia*

*Anexo 53: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto patrón con curado húmedo.*

### **ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO**

Muestra patrón (curado húmedo)



*Figura 161: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (1)*



*Figura 162: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (2)*



*Figura 163: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el concreto patrón (3)*

*Fuente: Propia*

Muestra patrón (curado húmedo)		
<p><i>Figura 164: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (1)</i></p>	<p><i>Figura 165: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (2)</i></p>	<p><i>Figura 166: Falla de viga a los 28 días para el concreto patrón (2)</i></p>

*Fuente: Propia*

*Anexo 54: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 1% con curado húmedo.*

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO		
Muestra con Biocarbón al 1% (curado húmedo)		
<p><i>Figura 167: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 1% (1)</i></p>	<p><i>Figura 168: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 1% (2)</i></p>	<p><i>Figura 169: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 1%</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 1% (curado húmedo)



*Figura 170: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (1)*



*Figura 171: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (2)*



*Figura 172: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 1%*



*Figura 173: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 1% (1)*



*Figura 174: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 1% (2)*



*Figura 175: Falla de viga a los 56 días para el GEB al 1%*

*Fuente: Propia*

*Anexo 55: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2% con curado húmedo*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>		
Muestra con Biocarbón al 2% (curado húmedo)		
		
<p><i>Figura 176: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2% (1)</i></p>	<p><i>Figura 177: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2% (2)</i></p>	<p><i>Figura 178: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 2%</i></p>
		
<p><i>Figura 179: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (1)</i></p>	<p><i>Figura 180: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (2)</i></p>	<p><i>Figura 181: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (1)</i></p>

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 2% (curado húmedo)



*Figura 182: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (2)*



*Figura 183: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2% (3)*



*Figura 184: Falla de viga a los 56 días para el GEB al 2%*

*Fuente: Propia*

*Anexo 56: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado húmedo.*

**ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO**

Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado húmedo)



*Figura 185: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2.5% (1)*



*Figura 186: Capacidad de carga a flexión a los 7 días para el GEB al 2.5% (2)*



*Figura 187: Falla de viga a los 7 días para el GEB al 2.5%*

*Fuente: Propia*

Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado húmedo)



*Figura 188: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (1)*



*Figura 189: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (2)*






*Figura 190: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2.5% (1)*



*Figura 191: Capacidad de carga a flexión a los 56 días para el GEB al 2.5% (2)*




*Fuente: Propia*

*Anexo 57: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto patrón con curado al aire libre.*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>		
Muestra patrón (curado al aire libre)		
		
<p><i>Figura 192: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (1)</i></p>	<p><i>Figura 193: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el concreto patrón (2)</i></p>	<p><i>Figura 194: Falla de viga a los 28 días para el concreto patrón</i></p>



*Fuente: Propia*

*Anexo 58: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 1% con curado al aire libre.*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>		
Muestra con Biocarbón al 1% (curado al aire libre)		
		
<p><i>Figura 195: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (1)</i></p>	<p><i>Figura 196: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 1% (2)</i></p>	<p><i>Figura 197: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 1%</i></p>

*Fuente: Propia*

*Anexo 59: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2% con curado al aire libre.*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>	
Muestra con Biocarbón al 2% (curado al aire libre)	
	
<p><i>Figura 198: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (1)</i></p>	<p><i>Figura 199: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2% (2)</i></p>

*Fuente: Propia*

*Anexo 60: Evidencia visual de la resistencia a flexión del concreto + Biocarbón al 2.5% con curado al aire libre.*

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>		
Muestra con Biocarbón al 2.5% (curado al aire libre)		
		
<p><i>Figura 200: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (1)</i></p>	<p><i>Figura 201: Capacidad de carga a flexión a los 28 días para el GEB al 2.5% (2)</i></p>	<p><i>Figura 202: Falla de viga a los 28 días para el GEB al 2.5%</i></p>

*Fuente: Propia*

Anexo 61: Evidencia visual del módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con biocarbón

ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

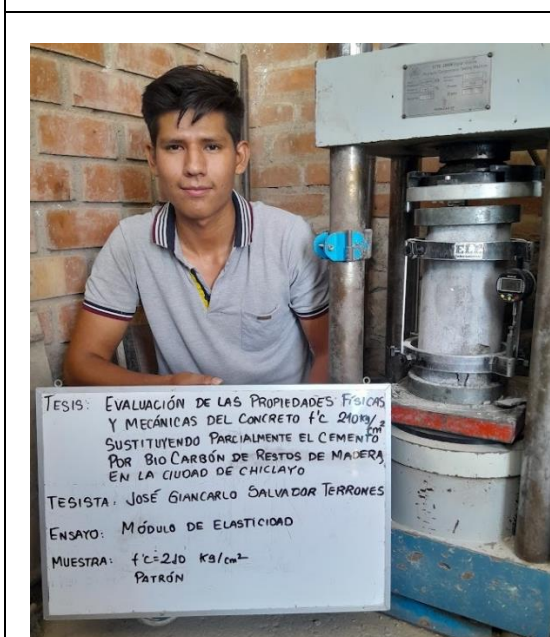


Figura 203: Módulo de elasticidad del concreto patrón a los 28 días

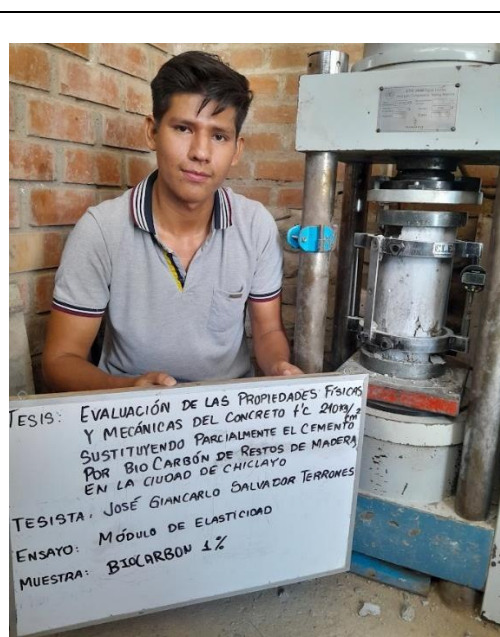


Figura 204: Módulo de elasticidad del GEB al 1% a los 28 días



Figura 205: Módulo de elasticidad del GEB al 2% a los 28 días



Figura 206: Módulo de elasticidad del GEB al 2.5% a los 28 días

Fuente: Propia

Anexo 62: Evidencia visual de fisuración del concreto patrón

<b>ENSAYO DE FISURACIÓN DEL CONCRETO</b>	
<b>Muestra patrón</b>	
	
<p><i>Figura 207: Ancho de grieta a las 22 horas del panel 1 del concreto patrón</i></p>	<p><i>Figura 208: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del concreto patrón</i></p>
	
<p><i>Figura 209: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del concreto patrón</i></p>	<p><i>Figura 210: Tesista junto al panel 1 del concreto patrón</i></p>

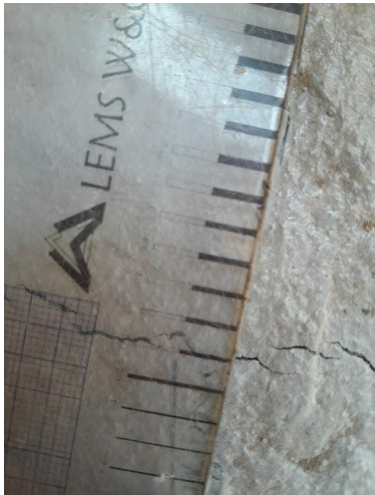
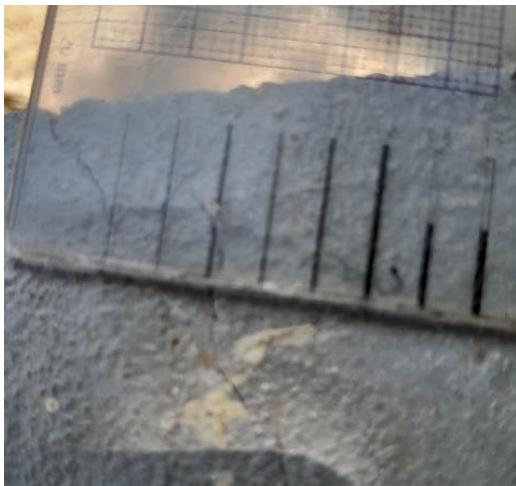


Fuente: Propia

*Anexo 63: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 1%*

<b>ENSAYO DE FISURACIÓN DEL CONCRETO</b>	
<b>Muestra con biocarbón al 1%</b>	
	
<p><i>Figura 211: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 1%</i></p>	<p><i>Figura 212: Ancho de grieta a las 22 horas del panel 1 del GEB al 1%</i></p>
	
<p><i>Figura 213: Tesista tomando lectura de la velocidad del viento</i></p>	<p><i>Figura 214: Tesista junto a los paneles 1 y 2 del GEB al 1%</i></p>

*Fuente: Propia*

*Anexo 64: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 2%*

<b>ENSAYO DE FISURACIÓN DEL CONCRETO</b>	
<b>Muestra con biocarbón al 2%</b>	
	
<p><i>Figura 215: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2%</i></p>	<p><i>Figura 216: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del GEB al 2%</i></p>
	
<p><i>Figura 217: Tesista junto al panel 1 y 2 del GEB al 2%</i></p>	<p><i>Figura 218: Tesista midiendo la grieta del panel 2 del GEB al 2%</i></p>

*Fuente: Propia*

*Anexo 65: Evidencia visual de fisuración del concreto con biocarbón al 2.5%*

<b>ENSAYO DE FISURACIÓN DEL CONCRETO</b>	
<b>Muestra con biocarbón al 2.5%</b>	
	
<p><i>Figura 219: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 1 del GEB al 2.5%</i></p>	<p><i>Figura 220: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2.5% (1)</i></p>
	
<p><i>Figura 221: Ancho de grieta a las 24 horas del panel 2 del GEB al 2.5% (2)</i></p>	<p><i>Figura 222: Tesista junto midiendo la grieta del panel 2 del GEB al 2.5%</i></p>

*Fuente: Propia*