UNIVERSIDAD NACIONAL

PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025

TESIS

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero civil

Autores:

Bach. Quispe Huaman, Ronal Richard

Bach. Santillan Montalvo, Erick Manuel

Asesor:

Dr. Ing. Mondragón Castañeda, Carlos Ernesto

Línea de Investigación:

Ingenierías y Tecnologías

Lambayeque – Perú

Junio 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025

Aprobado por los miembros del jurado:

Dr. Ing. Farias Feijoo, Juan Hermán

Presidente

Dr. Ing. Coronado Zuloeta, Omar

Secretario

Dr. Ing. Huangal Castañeda, Nelson Enrique

Vocal

Lambayeque - Perú

Junio 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL

PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero civil

Bach. Quispe Huaman, Ronal Richard

Autor

Bach. Santillan Montalvo, Erick Manuel

Autor

Dr. Ing. Mondragón Castañeda, Carlos Ernesto

Asesor

Lambayeque - Perú

Junio 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN





ACTA DE SUSTENTACIÓN
N° 017-2026-UI-FICSA

Siendo las 11:00 am del día 17 de junio del 2026, se reunieron los miembros de jurado de la Tesis titulada: **"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO LAMBAYEQUE, 2025", con código N° IC_V_2025_017,** y designado por **Resolución Decanal N° 239-2025-UNPRG-FICSA** con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis profesional antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

DR. ING. JUAN HERMAN FARIAS FEIJOO	PRESIDENTE
DR. ING. OMAR CORONADO ZULOETA	SECRETARIO
DR. ING. NELSON ENRIQUE HUANGAL CASTAÑEDA	VOCAL

Asesorado por DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGON CASTAÑEDA.

El acto de sustentación fue autorizado por **OFICIO VIRTUAL N° 143-2026-UIFICSA**, la tesis profesional fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **ERICK MANUEL SANTILLAN MONTALVO Y RONAL RICHARD QUISPE HUAMAN,** tuvo una duración de ...60... minutos Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva:

	NUMERO	LETRAS	CALIFICATIVO
ERICK MANUEL SANTILLAN MONTALVO	17	DIECISIETE	BUENO
RONAL RICHARD QUISPE HUAMAN	17	DIECISIETE	BUENO

Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:00 17...; del mismo día, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. JUAN HERMAN FARIAS FEIJOO
PRESIDENTE

DR. ING. OMAR CORONADO ZULOETA
SECRETARIO

DR. ING. NELSON ENRIQUE HUANGAL CASTAÑEDA
VOCAL

DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGON CASTAÑEDA
ASESOR

JHFF/bcm.

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA, Asesor de Tesis, de los sustentantes:

- **SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL**
- **QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD**

DE LA TESIS TITULADA: "CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 16% verificable en el reporte de similitud del programa TURNITIN.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas NO CONSTITUYEN PLAGIO. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Se expide la presente según lo dispuesto en la Resolución Nº 659-2020-R, de fecha 8 de setiembre de 2020 formativa para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG:

Lambayeque, 08 de julio de 2026

ATENTAMENTE,



.....

DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA
DNI. 16425252
ASESOR

Adjunto:

- Reporte turnitin
- Recibo turnitin

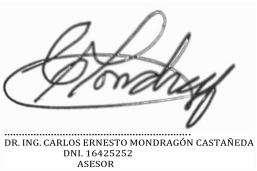
Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lamba

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	17%	6%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet
2	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	Trabajo del estudiante
4	repositorio.ucv.edu.pe	Fuente de Internet
5	repositorio.unsaac.edu.pe	Fuente de Internet
6	repositorio.uni.edu.pe	Fuente de Internet
7	Submitted to uncedu	Trabajo del estudiante
8	repositorio.uss.edu.pe	Fuente de Internet
9	repositorioacademico.upc.edu.pe	Fuente de Internet
10	Submitted to Universidad Privada del Norte	Trabajo del estudiante
11	repositorio.unap.edu.pe	Fuente de Internet
12	Submitted to Universidad Andina del Cusco	Trabajo del estudiante
13	repositorio.utea.edu.pe	Fuente de Internet
14	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	Trabajo del estudiante
15	repositorio.uncp.edu.pe	Fuente de Internet

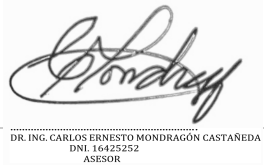


DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA
DNI. 16425252
ASESOR

16	es.scribd.com Fuente de Internet	
17	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	
18	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	
19	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025 Trabajo del estudiante	
20	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	
21	Submitted to uni Trabajo del estudiante	
22	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	
23	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	
24	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	
25	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	
26	Submitted to Universidad de San Martin de Porres Trabajo del estudiante	
27	edoc.pub Fuente de Internet	
28	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	
29	Panduro Pinedo, Percy. "Intervenciones educativas con estrategias didácticas bajo el enfoque socio-cognitivo, para mejorar el desarrollo del aprendizaje en el área Ciencias Sociales en los estudiantes del 4to. grado del nivel secundario de la Institución Educativ San Francisco-B, del distrito de Yarinacocha 2018", Universidad Católica los Ángeles de Chimbote (Peru) Publicación	
30	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	
31	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	

DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA
DNI. 16425252
ASESOR

32	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	
33	1library.co Fuente de Internet	
34	Submitted to Pontificia Universidad Católica de Chile Trabajo del estudiante	
35	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	
36	Submitted to Universidad Ort Trabajo del estudiante	
37	"Properties of Radiation Shielding Concrete", ACI Journal Proceedings, 1963 Publicación	
38	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	
39	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	
40	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	
41	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	
42	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	
43	blog.iaac.net Fuente de Internet	
44	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	
45	Submitted to Instituto Politecnico Nacional Trabajo del estudiante	



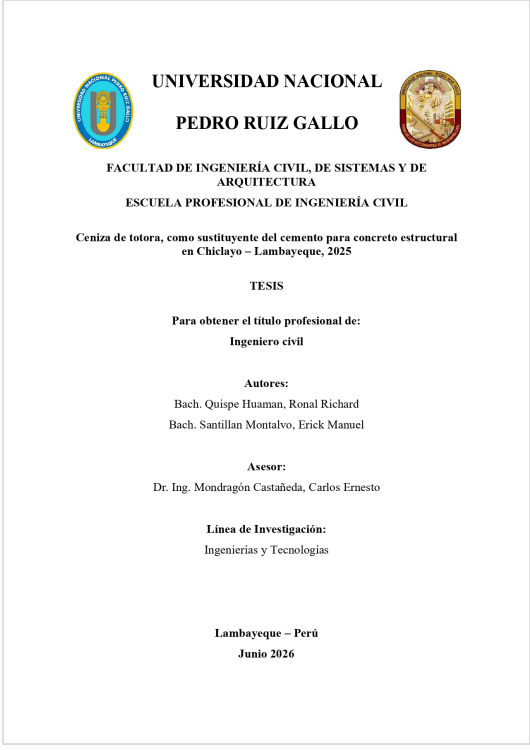
Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Quispe Huaman, Ronal Richard Santillan Montalvo, Erick Man...
Título del ejercicio:	Tesis Pregrado
Título de la entrega:	Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concret...
Nombre del archivo:	INFORME_FINAL_DE_TESIS_-_QUISPE_-_SANTILLAN.docx
Tamaño del archivo:	36.62M
Total páginas:	173
Total de palabras:	22,843
Total de caracteres:	125,429
Fecha de entrega:	08-jul-2026 10:44a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2995181477



UNIVERSIDAD NACIONAL

PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025

TESIS

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero civil

Autores:

Bach. Quispe Huaman, Ronal Richard

Bach. Santillan Montalvo, Erick Manuel

Asesor:

Dr. Ing. Mondragón Castañeda, Carlos Ernesto

Línea de Investigación:

Ingenierías y Tecnologías

Lambayeque – Perú

Junio 2026



DR. ING. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA
DNI. 16425252
ASESOR

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

A mi madre Elena Huaman

Quien es el motivo de mi vida, por el apoyo y el amor infinito que me has brindado. Cada paso que doy y cada logro alcanzado son reflejo de su sacrificio, su fortaleza y su ejemplo.

A mi padre Alberto Quispe

Quien me enseñó a ser perseverante en la vida, que me brindó su apoyo y me inculcó principios que me motivan a ser mejor cada día.

A mis hermanos Junior, Yacky y Angie

Por su apoyo constante a lo largo de este camino y por su disposición permanente para ayudarme en cada etapa.

A mi compañera de vida Adler Reyes

Quien con sus palabras me ayudó a no rendirme nunca, que me enseñó a seguir luchando por mis sueños y por un futuro mejor.

A mis amigos, compañeros y profesores

Por sus consejos, apoyo y enseñanzas que fueron importantes en esta etapa de mi vida.

Bach. Ronal Richard Quispe Huaman

DEDICATORIA

A mi madre Norma Montalvo

Por creer siempre en mí, por apoyarme en cada paso y por darme la fuerza para intentarlo siempre una vez más, demostrándome que todo lo que me propongo es posible.

A mi padre Segundo Santillan

Por enseñarme a nunca rendirme ante nada, por su ejemplo constante de esfuerzo y perseverancia, por impulsarme siempre a seguir adelante, agradezco también ser siempre su orgullo.

A mis hermanas Christell, Rubí y Brigitte

Por motivarme a ser siempre el mejor, por su apoyo constante, por su admiración, que este logro sea un ejemplo que las inspire a nunca rendirse.

A mi hijo Valentino

Por enseñarme a ser fuerte incluso en los momentos más difíciles, por regalarme sus sonrisas que me dieron esperanza, por darle un nuevo sentido a mi vida, y por ser mi mayor razón para no rendirme nunca.

Bach. Erick Manuel Santillan Montalvo

AGRADECIMIENTO

Deseamos dejar constancia de nuestro sincero agradecimiento a instituciones y las personas que contribuyeron, de manera directa e indirecta, hicieron posible el desarrollo y culminación de la presente tesis.

En primer término, elevamos nuestro agradecimiento a Dios, por brindarnos fortaleza, salud y perseverancia a lo largo de este proceso académico, permitiéndonos alcanzar una meta importante en nuestra formación profesional.

Expresamos también nuestro especial agradecimiento a nuestro asesor de tesis, Dr. Ing. Mondragón Castañeda, Carlos Ernesto, cuya guía técnica, disposición permanente y valiosos aportes académicos fueron determinantes para orientar adecuadamente el desarrollo del trabajo. Su experiencia y compromiso contribuyeron significativamente a la calidad del presente estudio.

También queremos expresar nuestro agradecimiento a los profesores y compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, que, a través del intercambio de conocimientos, apoyo académico y compañerismo, enriquecieron nuestra etapa universitaria y fortalecieron nuestra formación integral.

Finalmente, agradecemos de manera especial a nuestras familias y amistades, quienes nos brindaron su respaldo constante, comprensión y aliento en los momentos de mayor exigencia. Su apoyo fue fundamental para mantener la motivación necesaria hasta la culminación de este logro académico.

A todos ellos, nuestro más profundo y sincero agradecimiento.

Los autores: Bach. Ronal Richard Quispe Huaman

Bach. Erick Manuel Santillan Montalvo

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar la influencia de la incorporación de la ceniza de totora como sustituyente parcial del cemento Portland en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural elaborado en la ciudad de Chiclayo, región Lambayeque. El estudio se desarrolló con un concreto patrón diseñado para una resistencia especifica de f'c = 210 kg/cm², comparándolo con mezclas que incorporaron ceniza de totora en proporciones del 5%, 8% y 11% en remplazo del cemento.

Para ello la investigación se desarrolló en un enfoque cuantitativo, de tipo experimental ya que se manipulo de manera controlada la variable independiente y se compararon los resultados con una mezcla patrón.

Así mismo, se consideró analizar las propiedades físicas de los agregados empleados, evaluar el comportamiento del concreto patrón y estudiar el desempeño del concreto modificado con ceniza de totora, con la finalidad de determinar el porcentaje óptimo de sustitución que garantice un adecuado desempeño estructural y eficiencia del material. La variable independiente fue la ceniza de totora, considerada a través de su porcentaje de sustitución del cemento, mientras que la variable dependiente estuvo constituida por las propiedades del concreto estructural, evaluadas en estado fresco (asentamiento, temperatura y peso unitario) y en estado endurecido (resistencia a la comprensión y resistencia a la tracción indirecta).

La investigación es relevante tanto en el ámbito académico como practico, ya que aporta evidencia experimental sobre el uso de material alternativo de origen vegetal, promoviendo practicas sostenibles, la reducción del impacto ambiental asociado a la producción de cemento y el aprovechamiento de recursos locales disponibles en la región.

Palabras clave: ceniza de totora, concreto estructural, sustitución parcial de cemento, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción.

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the influence of incorporating totora ash as a partial substitute for Portland cement on the physical and mechanical properties of structural concrete produced in the city of Chiclayo, Lambayeque region. The study was conducted using a standard concrete mix designed for a specific compressive strength of f'c = 210 kg/cm², comparing it with mixes that incorporated totora ash in proportions of 5%, 8%, and 11% as a cement replacement.

To this end, the research employed a quantitative, experimental approach, as the independent variable was manipulated in a controlled manner and the results were compared with a standard mix. Furthermore, the study considered analyzing the physical properties of the aggregates used, evaluating the behavior of the standard concrete mix, and studying the performance of the concrete modified with totora ash, in order to determine the optimal substitution percentage that guarantees adequate structural performance and material efficiency. The independent variable was totora ash, measured by its percentage of cement substitution, while the dependent variable consisted of the properties of the structural concrete, evaluated in its fresh state (slump, temperature, and unit weight) and in its hardened state (compressive strength and indirect tensile strength).

This research is relevant in both academic and practical contexts, as it provides experimental evidence on the use of alternative plant-based materials, promoting sustainable practices, reducing the environmental impact associated with cement production, and utilizing locally available resources in the region.

Keywords: totora ash, structural concrete, partial cement replacement, compressive strength, tensile strength

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES 19

1.1. Síntesis de la situación problemática 19

1.2. Formulación del problema de investigación 21

1.3. Hipótesis o solución del problema 21

1.4. Objetivo 21

1.4.1. Objetivo general 21
1.4.2. Objetivos específicos 21
1.5. Definición y operacionalización de variables 21

1.5.1. Variable independiente 21
1.5.2. Variable dependiente 22
1.6. Matriz de operacionalización de variables 22

1.7. Justificación de la investigación 23

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 25

2.1. Antecedentes 25

2.1.1. Antecedentes internacionales 25
2.1.2. Antecedentes nacionales 27
2.1.3. Antecedentes locales 29
2.2. Bases teóricas 31

2.2.1. Cemento Portland 31
2.2.2. Agregados 32
2.2.3. Agua 33
2.2.4. Concreto 34
2.2.5. Concreto estructural 35
2.2.6. Propiedades del concreto en estado fresco 35
2.2.7. Propiedades de concreto en estado endurecido 39
2.2.8. Ceniza de totora 42
2.2.9. Totora 43
2.2.10. Propiedades químicas de la ceniza de totora 47

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 48

3.1. Tipificación de la investigación 48

3.2. Diseño de Investigación 49

3.3. Población y muestra 49

3.4. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales 51

3.4.1. Técnicas de investigación 51

3.4.2. Instrumentos 52
3.4.3. Equipos 53
3.4.4. Materiales 54
3.5. Procedimiento 55

4. CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 57

4.1. Presentación del área en estudio 57
4.2. Obtención de materiales 58
4.2.1. Agregados 58
4.2.2. Totora 58
4.2.3. Accesibilidad a las plantaciones de totora 59
4.2.4. Producción de la ceniza de totora 60

5. CAPÍTULO V: RESULTADOS 66

5.1. Ensayos físicos de los agregados 66
5.1.1. Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino 66
5.1.2. Análisis Granulométrico por Tamizado del Agregado Grueso 68
5.1.3. Contenido de humedad de los agregados 70
5.1.4. Peso volumétrico suelto y varillado de los agregados 71
5.1.5. Peso específico de masa y porcentaje de absorción de los agregados 73
5.2. Características físicas de la ceniza de totora 75
5.2.1. Determinación de la distribución granulométrica de la ceniza de totora 75
5.2.2. Contenido de humedad de la ceniza de totora 76
5.2.3. Peso específico de la ceniza de totora 76
5.3. Diseño de mezclas 77
5.4. Ensayos de concreto fresco 83
5.4.1. Ensayo de consistencia (cono de Abrams) 83
5.4.2. Ensayo de Temperatura del concreto 83
5.4.3. Ensayo de Peso unitario del concreto 84
5.5. Ensayo de concreto endurecido 84
5.5.1. Ensayo de Resistencia a la compresión 84
5.5.2. Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta 88

6. CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN 89

6.1. Interpretación de las propiedades físicas de los agregados 89
6.2. Interpretación del comportamiento del concreto patrón (f'c = 210 kg/cm²) 91
6.3. Interpretación del comportamiento del concreto con sustitución parcial de cemento por ceniza de totora 94

6.4. Determinación del porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de totora en el concreto estructural 99
6.5. Viabilidad económica 103

7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 109

7.1. Conclusiones 109
7.2. Recomendaciones 111

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 112

9. ANEXOS 117

9.1. ANEXO A: Registros de laboratorio de ensayos de materiales 117
9.2. ANEXO B: Constancia de ensayos de laboratorio 134
9.3. ANEXO C: Boleta electrónica Cemento Pacasmayo tipo I 135
9.4. ANEXO D: Hoja técnica Cemento tipo I-Pacasmayo 136
9.5. ANEXO E: Panel Fotográfico 145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Tabla de operacionalización de variables* 22
Tabla 2 *Cantidad de testigos para la resistencia a la compresión de f'c= 210 kg/cm2* 50
Tabla 3 *Cantidad de probetas programadas para tracción indirecta* 50
Tabla 4 *Análisis granulométrico del agregado fino muestra 1* 66
Tabla 5 *Análisis granulométrico del agregado grueso-muestra 1* 68
Tabla 6 *Determinación del contenido de humedad del agregado fino* 70
Tabla 7 *Contenido de humedad del agregado grueso* 70
Tabla 8 *Peso volumétrico suelto agregado fino* 71
Tabla 9 *Peso volumétrico varillado agregado fino* 71
Tabla 10 *Peso volumétrico suelto agregado grueso* 72
Tabla 11 *Peso volumétrico varillado agregado grueso* 72
Tabla 12 *Peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado fino* 73
Tabla 13 *Peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado grueso* 74
Tabla 14 *Distribución de tamaños de la ceniza de totora (muestra triturada)* 75
Tabla 15 *Contenido de humedad de la ceniza de totora triturada* 76
Tabla 16 *Peso específico de la ceniza de totora triturada* 76
Tabla 17 *Propiedades de los agregados* 77
Tabla 18 *Dosificación del concreto patrón expresada en peso y volumen para una relación a/c= 0.55* 80
Tabla 19 *Composición expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0.55 de la mezcla patrón.* 80
Tabla 20 *Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 95% + ceniza de totora 5%* 81
Tabla 21 *Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 92% + ceniza de totora 8%* 81
Tabla 22 *Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 89% + ceniza de totora 11%* 82
Tabla 23 *Cantidades de materiales por mezcla para probetas cilíndricas de diámetro=0.15m, altura=0.30m* con a/c = 0,55 82
Tabla 24 *Resultados de consistencia (cono de Abrams) para la mezcla control y mezclas con ceniza de totora* 83
Tabla 25 *Medición de temperatura : mezcla control y mezclas con ceniza de totora (5%,8% y 11%).* 83
Tabla 26 *Peso unitario del concreto fresco: mezcla control y mezclas con ceniza de totora (5%,8% y 11%)* 84
Tabla 27 *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto* 84
Tabla 28 *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 5% de ceniza de totora* 85
Tabla 29 *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 8% de ceniza de totora* 86

Tabla 30 *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 11% de ceniza de totora* 87
Tabla 31 *Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta del concreto a los 28 días de curado del concreto patrón y concreto con sustitución del cemento por 5%,8% y 11% de ceniza de totora* 88
Tabla 32 *Análisis de costo unitario del concreto patrón por m3.* 104
Tabla 33 *Análisis de costo unitario del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora por m3.* 105
Tabla 34 *Análisis de costo unitario del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora por m3.* 106
Tabla 35 *Análisis de costo unitario del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora por m3.* 107
Tabla 36 *Costo unitario y ahorro económico del concreto con sustitución parcial de cemento por ceniza de totora (1 m³)* 107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Prensa hidráulica de compresión* 41
Figura 2 *Prueba de compresión diametral* 42
Figura 3 *Planta acuática totora* 43
Figura 4 *Extracción de la totora en márgenes del río Reque* 44
Figura 5 *Taxonomía de la Typha latifolia* 45
Figura 6 *Zona de producción de la totora (TYPHA LATIFOLIA)* 46
Figura 7 *Caracterización de la ceniza de totora en componentes químicos* 47
Figura 8 *Diagrama de flujo que describe el proceso experimental para la preparación y evaluación del concreto que utiliza ceniza de totora.* 55
Figura 9 *Ubicación geográfica de la provincia de Chiclayo* 58
Figura 10 *Localización de zonas de recolección, crecimiento y revegetación de totora en el distrito de Chiclayo* 60
Figura 11 *Recolección de totora de los márgenes del río Reque* 62
Figura 12 *Corte de los tallos, seleccionando ejemplares con dimensiones y características adecuadas* 62
Figura 13 *El material recolectado fue sometido a un proceso de secado natural* 63
Figura 14 *Acondicionó un horno artesanal para la combustión de la totora.* 63
Figura 15 *Acondicionamiento del material vegetal (totora seca) para luego proceder a su calcinación* 64
Figura 16 *Proceso inicial de calentamiento para calcinación de los tallos de totora (82,9 °C) en horno artesanal, etapa preliminar necesaria antes de alcanzar el rango óptimo de 400–700 °C para generar ceniza.* 64
Figura 17 *Retiro de ceniza generada en el proceso de calcinación de totora.* 65
Figura 18 *Trituración y posterior tamizado por las mallas N° 50, N° 100 y N° 200 para la ceniza de totora.* 65
Figura 19 *Curva granulométrica obtenida para el agregado fino (Muestra 1)* 67
Figura 20 *Curva granulométrica del agregado grueso correspondiente a la muestra 1* 69
Figura 21 *Curva granulométrica-ceniza de totora* 75
Figura 22 *Síntesis de las características físicas de los agregados fino y grueso* 90
Figura 23 *Comportamiento resistente del concreto patrón vs periodo de curado.* 93
Figura 24 *Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora* 96
Figura 25 *Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora* 97
Figura 26 *Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora* 98
Figura 27 *Comparación del asentamiento del concreto fresco: mezcla control y mezclas con ceniza de totora* 100
Figura 28 *Comparación de f'c vs periodo de curado (días): mezcla control y mezclas con CT–5%, CT–8% y CT–11%.* 101
Figura 29 *Comparación de la resistencia a tracción indirecta entre mezcla control y mezclas con CT–5%, CT–8% y CT–11%.* 102

Figura 30 *Proceso de cuarteo aplicado* 145
Figura 31 *Proceso de cuarteo aplicado al agregado grueso.* 145
Figura 32 *Pesaje con balanza calibrada del agregado fino y grueso.* 146
Figura 33 *Colocación horno eléctrico de muestras por 24 horas.* 146
Figura 34 *Retiro de muestras al horno eléctrico tras el periodo de secado luego de 24 horas* 147
Figura 35 *Proceso mediante tamizado del agregado fino*..... 147
Figura 36 *Análisis granulométrico del agregado grueso*..... 148
Figura 37 *Determinación de la granulometría del agregado grueso mediante tamizado* ... 148
Figura 38 *Peso unitario suelto del agregado grueso*..... 149
Figura 39 *Peso unitario suelto y varillado para los agregados*..... 149
Figura 40 *Pesaje en conjunto del molde y agregado fino para ensayo de peso unitario.* ... 150
Figura 41 *Peso unitario varillado del agregado grueso*..... 150
Figura 42 *Peso de molde más muestra del agregado grueso*..... 151
Figura 43 *Muestra superficialmente seca (SSD) durante el ensayo*..... 152
Figura 44 *Verificación de la condición superficialmente seca (SSD) de la muestra* 152
Figura 45 *Secado manualmente y superficialmente del agregado grueso saturado* 153
Figura 46 *Preparación de muestras para ensayo de peso específico.* 153
Figura 47 *Peso de agregado grueso sumergido en agua*..... 154
Figura 48 *Zona de reconocimiento de crecimiento de totora - distrito de Chiclayo.*..... 155
Figura 49 *Selección y recolección de tallos de totora en zona de ribera* 155
Figura 50 *Proceso de secado natural de tallos de totora previo a su transformación en ceniza.*..... 156
Figura 51 *Proceso de calcinación en horno artesanal y acopio de puzolana vegetal obtenida.* 156
Figura 52 *Ensayo de Granulometría por Tamizado de ceniza de totora.* 157
Figura 53 *Ensayo de Contenido de Humedad para ceniza de totora tamizada*. 157
Figura 54 *Determinación de peso específico de la ceniza de totora*. 158
Figura 55 *Ensayo de peso específico la ceniza de totora saturada* 158
Figura 56 *Acondicionamiento y habilitación de moldes cilíndricas para la mezcla*..... 159
Figura 57 *Pesaje en balanza calibrada del agregado grueso en la dosificación*..... 159
Figura 58 *Pesaje de acuerdo a la dosificación requerida del agregado fino* 160
Figura 59 *Pesaje de cemento Tipo I para la elaboración de dosificación requerida* 160
Figura 60 *Pesaje previo de ceniza de totora para su uso como material sustituyente del cemento.*..... 161
Figura 61 *Preparación de concreto en mezcladora eléctrica de concreto* 161
Figura 62 *Slump del concreto patrón.*..... 162
Figura 63 *Slump del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora.* 162
Figura 64 *Slump del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora.* 163
Figura 65 *Slump del concreto con 89% cemento + 11 % ceniza de totora.* 163
Figura 66 *Medición de la mezcla más molde para obtener el peso unitario del concreto en condición fresca.* 164
Figura 67 *Evaluación del peso unitario del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora.* 164

Figura 68 *Evaluación del peso unitario del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora.* 165
Figura 69 *Evaluación del peso unitario del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora.* 165
Figura 70 *Lectura de la temperatura del concreto patrón en estado fresco.* 166
Figura 71 *Temperatura del concreto con incorporación de 5 %, 8 % y 11 % de ceniza de totora.* 166
Figura 72 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 07 días* 167
Figura 73 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 14 días.* 167
Figura 74 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 28 días.* 168
Figura 75 *Estado final de especímenes cilíndricas de con 5%,8 y 11% de ceniza de* 168
Figura 76 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 14 días.* 169
Figura 77 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora a 14 días.* 169
Figura 78 *Muestras representativas de probetas a ensayar en los 14 días de curado* 170
Figura 79 *Manipulación de prensa hidráulica para rotura de probetas de concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 28 días.* 170
Figura 80 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora a 28 días.* 171
Figura 81 *Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora a 28 días.* 171
Figura 82 *Rotura de especímenes cilíndricos a tracción indirecta del concreto patrón a 28 días.* 172
Figura 83 *Rotura de especímenes cilíndricos para tracción indirecta del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 28 días.* 172
Figura 84 *Colocación de espécimen cilíndrico para su ensayo de tracción indirecta.* 173
Figura 85 *Rotura de especímenes cilíndricas de tracción indirecta los 28 días de curado con los porcentajes planteados de 5%,8% y 11% con el material sustituyente ceniza de totora.* 173

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual el sector de la construcción constituye un elemento clave para el crecimiento económico y social, dado que su participación directa en la realización de obras de infraestructura y edificación que satisfacen necesidades básicas de la población. Sin embargo, este crecimiento sostenido ha generado un impacto ambiental significativo, principalmente asociado al uso intensivo del cemento Portland, material esencial en la elaboración del concreto estructural. La producción del cemento es reconocida como una de las actividades industriales con mayor emisión de dióxido de carbono (CO2), contribuyendo de manera considerable al calentamiento global y al progresivo deterioro ambiental (Kumar Mehta, 2014).

Frente a esta realidad surge la necesidad de investigar alternativas sostenibles que permitan reducir el consumo de cemento sin comprometer el desempeño mecánico y estructural del concreto. Diversos estudios demostraron que el uso de materiales cementantes suplementarios, especialmente aquellos de origen vegetal con propiedades puzolánicas, constituye una estrategia viable con el fin de reducir las consecuencias ambientales del sector construcción (Neville, 2012). Entre estos materiales, la totora (Typha latifolia), planta abundante en zonas húmedas de la región de Lambayeque, representa un recurso natural poco aprovechado, cuyo residuo calcinado genera una ceniza rica en sílice y alúmina, componentes esenciales para reacciones puzolánicas.

Bajo esta premisa, el objetivo general de la presente investigación es evaluar el efecto de la incorporación de ceniza de totora como sustituto parcial del cemento Portland en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural elaborado en la ciudad de Chiclayo, Lambayeque. A partir de este objetivo, se plantean objetivos específicos orientados a metas concretas y alcanzables, Asimismo, la investigación se sustenta en la formulación de hipótesis basada en antecedentes científicos y fundamentos teóricos.

En cuanto a las variables de estudio, la variable independiente está constituida por la ceniza de totora, definida conceptualmente como una puzolana vegetal obtenida mediante la calcinación controlada de la totora (Typha latifolia), y operacionalizada a través de los porcentajes de sustitución del cemento (5%, 8%, 11%). En este estudio la variable dependiente está constituida por las propiedades del concreto estructural las cuales se definen los aspectos mecánicos, así como los físicos que condicionan su desempeño. En esta investigación, dichas propiedades se operacionalizan mediante ensayos normalizados en estado fresco (asentamiento, temperatura y peso unitario) y en estado endurecido (resistencia a compresión y resistencia a tracción indirecta).

Por ello la importancia de investigar esta problemática radica en la necesidad de proponer soluciones técnicas que contribuyan a la sostenibilidad del sector construcción, especialmente en regiones como Chiclayo, donde existe disponibilidad de recursos vegetales locales y una creciente demanda de concreto para obras civiles. La presente investigación no solo aporta conocimiento científico sore el comportamiento del concreto modificado con ceniza de totora, sino que también promueve el aprovechamiento de recursos naturales regionales, la reducción de emisiones contaminantes y el desarrollo de prácticas constructivas más responsables.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Síntesis de la situación problemática

La producción de cemento Portland, esencial para el concreto estructural, la fabricación de cemento contribuye directamente al calentamiento global al producir grandes cantidades de emisiones de CO_2, al intensificar el efecto invernadero. Esto provoca un incremento general de las temperaturas en el planeta, lo que a su vez desencadena fenómenos climáticos, se analizaron cómo se manejan las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector cementero, y se determinó que la fabricación de cemento fue responsable de entre el 5% y el 8% del total de emisiones de CO_2 a nivel mundial. Aproximadamente el 98,5% de estas emisiones provinieron directamente de los procesos industriales, mientras que cerca del 5% estuvieron relacionadas con la extracción y el transporte de los insumos necesarios. En 2013, China e India lideraron la producción mundial de cemento, contribuyendo conjuntamente con el 74% del total global (Kajaste & Hurme, 2016).

Así como en Chile, el sector del concreto se posiciona como una de las principales fuentes responsables de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) tanto en el ámbito de la construcción como en el sector industrial. La disminución de estas emisiones es crucial para que Chile pueda avanzar en el cumplimiento de sus compromisos internacionales relacionados con el cambio climático. Pese a ello, las acciones enfocadas en la reducción de CO_2 dentro del sector chileno han sido limitadas. Esto se debe en gran medida al carácter conservador de la industria, donde la implementación de estrategias para mitigar el impacto ambiental aún se percibe como un objetivo distante (Indo, 2024).

Aquí en Perú en abril de 2024, según datos estadísticos el uso de cemento a nivel nacional registró un incremento del 7,46% en comparación con el mismo mes del año

previo, presentados en su informe técnico sobre el comportamiento reciente de la economía (INEI, 2024).

La industria del cemento en el Perú forma parte del sector energético, que es el segundo que más contribuye a la generación de gases de efecto invernadero en el país, con un 30,1%. Además, la fabricación y la construcción, incluyendo a las cementeras, representan un 4,4% del total de estas emisiones. (MINAM, 2019).

La planta Pacasmayo es la principal fuente de producción de cemento en Chiclayo, la cual posee una capacidad productiva anual de aproximadamente 77,000 metros cúbicos contribuyendo significativamente al cambio climático (Cemento Pacasmayo, st).

En este marco, se fomentan los estudios que buscan descubrir y evaluar materiales sustitutivos y mejorar los procedimientos de construcción, con el objetivo de mantener o mejorar las funcionalidades y atributos del concreto.

En este contexto, la ceniza obtenida a partir de la totora, planta característica de ecosistema húmedo, se presenta como material alternativo para poder sustituir al cemento Portland. Su contenido de sílice de la ceniza de totora podría sustituir parcialmente al cemento, mejorando ciertas propiedades del concreto. Sin embargo, existen pocos estudios que evalúen cómo esta sustitución afecta aspectos fundamentales del concreto.

Por lo tanto, es necesario investigar de manera experimental cómo la utilización de ceniza de totora en distintas proporciones influye en el desempeño del concreto. Este análisis permitirá determinar si es viable, técnica y ambientalmente utilizar estos residuos como una alternativa sostenible en la construcción, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO_2 y al desarrollo de prácticas más ecológicas en Chiclayo-Lambayeque.

1.2. Formulación del problema de investigación

¿Cómo influye la incorporación de ceniza de totora como sustituyente parcial del cemento en las propiedades mecánicas y físicas del concreto estructural en Chiclayo, Lambayeque?

1.3. Hipótesis o solución del problema

La incorporación de ceniza de totora en los porcentajes 5%, 8% y 11% como sustituyente parcial del cemento en el concreto estructural mejorará en las propiedades mecánicas y físicas del concreto estructural en Chiclayo, Lambayeque.

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la incorporación de ceniza de totora como sustituto parcial del cemento en las propiedades mecánicas y físicas del concreto estructural elaborado en la región de Chiclayo, Lambayeque.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar en detalle las propiedades físicas de los agregados finos y agregados gruesos utilizados en la mezcla de concreto.
- Analizar las características físicas y mecánicas del concreto patrón diseñado con una resistencia especificada de $f'c = 210\ kg/cm^2$.
- Estudiar el comportamiento mecánico y físico del concreto al integrar ceniza de totora como sustituyente del cemento en porcentajes del 5%, 8% y 11%.
- Determinar el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento con ceniza de totora, considerando criterios de desempeño estructural y eficiencia.

1.5. Definición y operacionalización de variables

1.5.1. Variable independiente

Ceniza de totora.

1.5.2. Variable dependiente

Las propiedades del concreto estructural.

1.6. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1

Tabla de operacionalización de variables

Variable		Dimensión	Indicadores	Instrumento de medición	Índice
Tipo	**Descripción**				
Independiente	Ceniza de totora	Características físicas	Peso específico Granulometría	Ficha de recolección de datos	%
		Diseño de mezcla	Porcentaje de Sustitución	Ficha de recolección de datos	%
Dependiente	Propiedades del concreto estructural	Propiedades del concreto en estado fresco	Revenimiento	Ensayo de Cono de Abrams NTP 339.035	pulg
			Temperatura	Ensayo de temperatura NTP 339.184	°C
			Peso Unitario	Ensayo de peso unitario NTP 339.046	kgf/m3
		Propiedades del concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	Ensayo para evaluar la resistencia a la compresión - NTP 339.034	kg/cm2
			Resistencia a la tracción	Ensayo de tracción NTP 339.084	kg/cm2

Fuente: Elaboración propia

1.7. Justificación de la investigación

Actualmente, el sector construcción presenta una elevada necesidad del cemento, ya que este material se ha consolidado como uno de los elementos fundamentales en construcción de infraestructuras. El desarrollo de esta investigación busca crear un nuevo concreto estructural utilizando ceniza de totora en lugar de cemento Portland., promoviendo el uso de materiales con características puzolánicas, busca dar valor agregado a un recurso natural abundante en las zonas húmedas del Río Reque, el cual generalmente no es aprovechado de forma industrial.

Esta propuesta se enfoca en evaluar su desempeño mecánico mediante la sustitución del cemento en proporciones del 5%, 8% y 11%, aplicadas en el diseño de mezcla, para luego medir en edades de 7, 14 y 28 días, de manera progresiva el desarrollo de la resistencia y detectar cualquier discrepancia que pueda existir en la calidad de los materiales o en el procedimiento de curado.

En cuanto al impacto social, la iniciativa abre oportunidades para dinamizar economías locales mediante la inclusión de comunidades cercanas al Río Reque en actividades relacionadas con la recolección, tratamiento y transformación de la totora. Esto impulsa la creación de empleos sostenibles y promueve la transferencia de conocimientos y tecnologías apropiadas, fortaleciendo el vínculo entre la innovación y el desarrollo territorial.

Desde la evaluación económica del material, el coste de producción del concreto puede reducirse sustituyendo parcialmente el cemento por ceniza de totora, sobre todo en contextos donde el cemento tiene un precio elevado o el acceso es limitado. Al emplear totora proveniente del cauce del Río Reque, se aprovecha un recurso regional que no requiere transporte a larga distancia, lo que reduce gastos logísticos y promueve el uso

de insumos locales, fortaleciendo así la economía de la zona y disminuyendo la dependencia de materiales industriales tradicionales.

En cuanto al impacto ambiental, la inclusión de ceniza de totora es una excelente manera de reducir el impacto medioambiental asociados a la fabricación de cemento, a escala global, se considera una de las actividades industriales que más contribuye a la liberación de gases de efecto invernadero. Paralelamente, el uso de esta biomasa vegetal ayuda a evitar su acumulación descontrolada en los ecosistemas ribereños y reduce el riesgo de prácticas nocivas como la quema indiscriminada. De este modo, se fomenta una gestión ambiental más sostenible y responsable del entorno natural del Río Reque.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Tras el análisis de la información recopilada para esta investigación, se evidenció la inexistencia de estudios realizados a nivel local que aborden de manera específica el uso de ceniza de totora como componente sustituyente del cemento en la formulación de concreto destinado a aplicaciones estructurales. Sin embargo, se identificaron antecedentes de carácter local relacionados con la utilización de cenizas de origen vegetal, Entre los materiales alternativos más investigados se encuentra la ceniza de cascarilla de arroz, la cual ha sido incorporada como componente cementante adicional en la elaboración de concretos. Estos estudios sirvieron como base referencial para la presente investigación, permitiendo establecer criterios técnicos y metodológicos comparativos para el análisis del comportamiento del concreto incorporando ceniza de totora.

2.1.1. Antecedentes internacionales

La dependencia de recursos no renovables en el sector constructivo ha incrementado el impacto ambiental, por lo que se busca implementar alternativas biodegradables y reutilizables. En este contexto, la totora, una planta común en zonas tropicales, se presenta como una opción sostenible debido a sus buenas propiedades térmicas, acústicas y su capacidad de renovación rápida. La investigación revalora la totora como material de construcción, recopilando información de estudios previos y casos de uso en diferentes países. Se concluye que, al utilizar materiales locales y sostenibles, se puede reducir el impacto ambiental, fusionando técnicas ancestrales con la arquitectura contemporánea y promoviendo la sostenibilidad social y cultural (González Ramón, 2020).

Esta investigación explora el desarrollo de concreto autocompactante de alto desempeño (SCHPC) incorporando ceniza obtenida de la combustión de la

cascarilla de arroz (RHA) para sustituir el cemento en menor medida. Se planteo un conjunto de mezclas con concentraciones de RHA del 0% al 30% y diferentes relaciones agua-aglutinante (0.30 a 0.50), probando su trabajabilidad y estabilidad mediante diversas pruebas de capacidad de relleno y paso, estabilidad del contenido de aire y resistencia a la segregación. Se descubrió que, aunque el contenido elevado de RHA puede reducir la trabajabilidad inicial, incrementa de forma notable la estabilidad frente a la segregación dinámica y características específicas de resistencia del concreto endurecido, entre ellos su capacidad frente a esfuerzos de compresión y su durabilidad. Además, los aditivos aireantes y reductores de viscosidad fueron determinantes para lograr un adecuado balance en las características del concreto. Finalmente, los modelos desarrollados para predecir la capacidad de relleno y el comportamiento a compresión permitieron optimizar el diseño de las mezclas SCHPC, promoviendo el uso eficiente de la RHA en aplicaciones prácticas (Md., 2008).

Esta investigación se centró en analizar los efectos que ocurren en las características físicas y componentes químicos principales para la ceniza elaborada mediante combustión de la cascarilla de arroz (RHA) afectan el comportamiento de morteros y concretos, especialmente al considerar su aplicación como sustituyente del cemento. A pesar de los estudios previos que muestran efectos contradictorios de la RHA sobre el rendimiento del concreto, esta investigación analizó diversas formas de RHA y evaluó cómo sus propiedades puzolánicas influyen en el concreto Portland ordinario (OPC), en especial con altos índices de reemplazo. Los resultados demostraron que la RHA ejerce una influencia positiva en la consistencia, el desempeño resistente y la durabilidad de las mezclas de concreto y morteros, particularmente cuando se incrementa la finura de las

partículas. El uso de RHA también actúa como un agente de curado interno, reduciendo la desecación del concreto. El impacto de la RHA en la resistencia a cloruros y la retracción por secado fue considerable, con efectos notables en el empaque de las mezclas y la mejora de la estructura interna del concreto. Los tratamientos térmicos y el análisis microestructural revelaron que ciertos tipos de RHA (como RHA-A y RHA-B) presentan un mejor desempeño en la optimización de la capacidad estructural y la estabilidad a largo plazo. En conjunto, los resultados permiten establecer que la RHA puede emplearse puede sustituir de forma segura hasta el 60 % del cemento en el concreto, mejorando características importantes sin sacrificar la durabilidad.(Rasoul, 2018).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Este estudio evaluó el efecto de reemplazar cemento con ceniza de totora teniendo incidencia en el desempeño resistente del concreto. Llevar a cabo ensayos con un diseño de mezcla convencional orientado a alcanzar 280 kg/cm², incorporando ceniza de totora calcinada a 600 °C en reemplazos del 3 % y 6 %, abre una ventana muy interesante para valorizar residuos locales en concretos más sostenibles y eficientes en regiones como Lambayeque.

El análisis de los resultados sugiere que la incorporación de un del 3 % generó un incremento positivo en el desempeño mecánico, ya que la resistencia a compresión subió un 1,06 % a 28 días, además la resistencia a tracción mejoró en un 1,52 %, lo cual evidencia que esta ceniza, cuando se procesa adecuadamente, puede contribuir de forma efectiva al desarrollo de propiedades. Sin embargo, con un 6% de sustitución, ambas resistencias disminuyeron. En conclusión, el 3% de ceniza de totora mejora las propiedades del concreto, pero el 6% las reduce (Chambi Condori, 2022).

Esta investigación evaluó la ceniza de tuna y totora como tuvo influencia en el desempeño de la subrasante del Jr. Amazonas, en la ciudad de Huánuco. Para ello, se ejecutaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR, considerando porcentajes de ceniza de totora en 6.5%, 11.5% y 16.5%, y de tuna en 7.5%, 11.5% y 15.5%. Se observó que la ceniza de totora redujo el límite de consistencia del 8% al 4%, mientras que la de tuna lo hizo al 3%. En el proctor modificado, la densidad máxima aumentó con ambos materiales, alcanzando 1.885 gr/cm³ con totora y 1.859 gr/cm³ con tuna. En cuanto al CBR, la ceniza de totora incrementó del 8.6% al 28.3% y la de tuna alcanzó un 29.6%. En resumen, ambas cenizas mejoraron las propiedades de la subrasante en la zona estudiada (Aguirre Ronaldinno, 2023).

Esta investigación evaluó el impacto de un concreto diseñada con una resistencia nominal de 210 kg/cm², se elaboró con fibras naturales de Stipa ichu y material vegetal calcinado procedente de juncos de totora. Se probaron varias dosificaciones con diferentes porcentajes de ambos materiales. Los resultados físicos mostraron pequeños cambios en la temperatura y una leve reducción del peso unitario, de manera opuesta, se detectó un aumento notable del aire contenido asociado a las incorporaciones. El análisis mecánico evidenció que, para todas las dosificaciones consideradas, las capacidades resistentes a compresión y tracción evidenciaron una disminución progresiva, por otro lado, Se descubrió que una mezcla que incluía un 0,50 % de ceniza de totora y un 0,50 % de fibras de stipa ichu aumentaba la flexión en un 10,32 %., En conclusión, la adición de estos materiales no optimizó de manera general las propiedades del concreto, aunque se descubrió que una determinada dosis aumentaba la resistencia a la flexión (Apaza Chayña, 2022)

Se han estudiado los efectos de la ceniza de totora sobre el comportamiento del concreto utilizado en pavimentos rígidos (f'c = 210 kg/cm²) aplicado en la avenida Tacna, empleando distintos niveles de sustitución de 0%, 3%, 5% y 7%. dio lugar a una mejora del 8,83 % en la capacidad resistente a compresión, en tanto que con un 5 % se mantuvo una respuesta mecánica positiva, la resistencia a la flexión creció un 13,08 % tras 28 días, aunque el rendimiento mecánico se mantuvo positivo en un 5 %. Sin embargo, la trabajabilidad disminuyó con el 7% de ceniza. En conclusión, la ceniza de totora, al sustituir parcialmente el cemento, aporta beneficios al desempeño estructural del concreto, aunque reduce su trabajabilidad a altas concentraciones (Huaylla Quispe, 2022).

2.1.3. Antecedentes locales

Durante la revisión efectuada no se encontraron investigaciones en el departamento de Lambayeque, relacionadas a la ceniza de totora, pero sí se encontraron estudios con ceniza de vegetales que mencionaremos a continuación:

El objetivo principal de esta investigación, desarrollada durante el año 2023 en Lambayeque, consistió en evaluar y maximizar el diseño del concreto no estructural mediante el uso de ceniza de cáscara de arroz, ya que esta estrategia permite reducir el consumo de cemento Portland. Se utilizó un diseño experimental y se evaluaron probetas y vigas con distintas proporciones de CCA (1% a 12%). La muestra incluyó 117 probetas, 117 vigas y 4 cubos de mortero para probar la compresión, flexión y durabilidad. Los datos fueron procesados con programas estadísticos como Excel y SPSS. A partir de los resultados obtenidos, se estableció que los contenidos óptimos de CCA fueron 4% y 7%. Para estas dosificaciones se registraron resistencias a compresión de 240,40 y 268,80 kg/cm², respectivamente, y resistencias a flexión de 1,70 y 1,64 MPa. Estos valores fueron superiores a los

del concreto convencional, lo que demuestra que la ceniza de cascarilla de arroz puede ser una alternativa viable como reemplazo del cemento para elementos no estructurales (Eliu, 2024).

La investigación evaluó el uso de ceniza de cáscara de arroz (CCA) como material alternativo en la modificación de las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos plásticos. Se probaron diferentes proporciones de CCA (5% a 25%) en el suelo, analizando su efecto sobre la plasticidad, la compactación y la resistencia (medida con el CBR). Además, se estudiaron los efectos de los ciclos de humedad y secado en la durabilidad del suelo estabilizado. Los resultados indicaron que la proporción más efectiva de CCA fue del 20%, ya que mejoró la resistencia del suelo y redujo su plasticidad. También se observó que el suelo estabilizado mostró mayor resistencia a la degradación por agua. Finalmente, el estudio sugiere que el uso de CCA es una alternativa económica y ecológica para la estabilización de suelos, especialmente en áreas con abundancia de este residuo agrícola, promoviendo prácticas sostenibles en la construcción (Rosa, 2024).

El estudio se realizó con el fin de maximizar el rendimiento mecánico del concreto mientras se reduce drásticamente su huella ambiental, este estudio se realizó con el fin de maximizar el comportamiento mecánico de mezclas de concreto diseñadas para una resistencia característica de f'c = 280 kg/cm², ya que al incorporar ceniza proveniente de la calcinación de cáscara de arroz donde se aprovecha su elevada reactividad puzolánica para generar una matriz más densa y resistente a largo plazo. Se usaron diferentes proporciones de CCA (0%, 4%, 6%, 8%, 10%) en el cemento, para cada mezcla, se evaluaron 10 vigas y 40 probetas cilíndricas después de 7, 14 y 28 días. Los resultados demostraron que las cualidades del concreto mejoraban con una sustitución del 6 %, mejorando su

elasticidad, módulo de ruptura, resistencia a la compresión y flexión. Sin embargo, a mayores porcentajes de CCA (8% y 10%), la resistencia disminuyó (Correa Yheral, 2023).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cemento Portland

El cemento Portland para su elaboración se realiza a partir de rocas calizas y arcillosas, las cuales, tras ser sometidas a un proceso de calcinación a altas temperaturas, dan lugar a la formación del Clinker Portland, componente esencial en su producción.

El cemento Portland puede definirse como un material aglomerante que, debido a sus cualidades adhesivas y cohesivas, el cemento Portland es capaz de unir partículas minerales, lo que lo convierte en un medio aglutinante muy útil, originando una masa continua y sólida. Esta capacidad de enlace da lugar a un producto final de alta compacidad, que se distingue por su resistencia estructural y durabilidad frente a las exigencias del entorno, características esenciales del concreto.

Cuando hablamos de un cemento Portland se trata de un cemento de tipo hidráulico, obtenido a partir de la combinación de clínker y yeso, a través de un proceso de molienda, incorporando además hasta un 5 % de caliza y ciertos aditivos derivados del proceso de fabricación. Su formulación está cuidadosamente regulada, tanto en lo que respecta a la composición química como a las propiedades físicas que presenta. (Matallana, 2019)

Según (Rivera, 2002), el cemento Portland es el producto que se obtiene al triturar clínker Portland junto con la adición de sulfato de calcio en sus diversas formas. Es posible añadir otros materiales siempre que las propiedades finales del

cemento se mantengan inalteradas. Los materiales complementarios se reducen de tamaño y se muelen en conjunto con el clínker durante el proceso de producción.

2.2.2. Agregados

En la elaboración del concreto se emplean materiales granulares conocidos como áridos, siendo materiales de origen natural o artificial, normalmente se emplea agregados provenientes de rocas, cuando ocurre su desintegración se dice que su origen es de forma natural, Estos materiales se acumulan en canteras o se extraen de ríos, y en algunos casos, se someten a procesos de chancado para obtener agregados de manera artificial.

2.2.2.1. Agregado fino

Un material granular frecuente en aplicaciones de ingeniería y construcción es el agregado fino, el cual debe cumplir con requisitos específicos de granulometría para garantizar su desempeño adecuado en mezclas de concreto u otras aplicaciones. Estas restricciones garantizan que el agregado no contenga partículas demasiado grandes ni finos excesivos, lo que podría afectar negativamente propiedades clave como la facilidad de manejo en estado fresco, la capacidad resistente y la vida útil del producto final.

2.2.2.2. Agregado grueso

Los materiales cuyos tamaños de partícula se encuentran dentro de los rangos específicos se denomina agregado grueso. Según las normativas técnicas, como la ASTM C33 o sus equivalentes, un agregado se clasifica como grueso cuando su tamaño máximo nominal es mayor a 4.75 mm (malla N° 4), reteniéndose principalmente en dicho tamiz. Esta clasificación asegura que el agregado fino cumpla estrictamente con la clasificación granulométrica adecuada se transforma en un factor decisivo para elevar la calidad estructural y la

longevidad del concreto, verifica si el material cumple todos los requisitos para su uso en proyectos de construcción con concreto, brindando resistencia y además optimiza el empaquetamiento de los granos para lograr una mezcla más homogénea y compacta, por lo que se mejora notablemente el comportamiento mecánico de la mezcla.

2.2.3. Agua

En el concreto, el agua actúa cumpliendo dos funciones básicas entre los componentes de la mezcla de concreto. En primer lugar, es esencial para las reacciones químicas de hidratación del cemento, los cuales hacen posible su endurecimiento progresivo y el desarrollo de resistencia mecánica. En segundo lugar, proporciona al concreto la fluidez y manejabilidad necesarias para facilitar su colocación, así como su compactación durante el proceso constructivo.

La proporción de agua para la mezcla debe ajustarse cuidadosamente para cumplir ambos propósitos. Un exceso de agua resulta perjudicial, debido a que se evapora formando una red de poros capilares en el concreto, reduciendo su resistencia mecánica y durabilidad. Por otro lado, si no hay suficiente agua en la mezcla, será difícil colocarla y compactarla adecuadamente en la obra debido a su limitada trabajabilidad. El agua empleada en mezclas de concreto debe presentar condiciones de calidad que no comprometan el comportamiento del material debe estar exenta de cantidades significativas de sustancias orgánicas o compuestos inorgánicos que puedan generar efectos adversos en sus propiedades. Por lo común, el agua potable puede ser utilizada en el proceso de mezclado; sin embargo, pueden presentarse casos específicos que requieren una verificación adicional de su calidad. Por ejemplo, en regiones áridas, el agua destinada al consumo humano puede ser salina y contener concentraciones elevadas de

cloruros, puede provocar un efecto perjudicial sobre las características del concreto (A. García Meseguer, 2009).

2.2.4. Concreto

Los áridos, el agua y un agente cementoso conforman el material compuesto conocido como concreto. Al mezclarse y endurecerse, esta combinación da origen a un material sólido y durable, debido a que puede soportar cargas estructurales, se utiliza con frecuencia en la construcción

Concebir el concreto como una verdadera roca artificial creada por el ingenio humano abre una perspectiva fascinante y transformadora de la construcción moderna, donde su uso masivo impulsa el desarrollo de infraestructuras seguras y perdurables. Usualmente, el componente que actúa como aglutinante es el cemento hidráulico, el cual adquiere sus propiedades cohesivas al reaccionar con el agua, que los áridos, que constituyen la mayor parte del concreto, se integren y se aglutinen de manera eficiente, de acuerdo con su granulometría, los agregados se clasifican en fracciones finas y gruesas, representadas principalmente por la arena y la grava, tienen como propósito principal proporcionar masa, así como estabilidad al compuesto. Por otro lado, los aditivos son componentes químicos añadidos en pequeñas cantidades a la mezcla, con el propósito de alterar o mejorar determinadas características del concreto, adaptándolo a condiciones o requerimientos particulares. (Matallana, 2019)

De manera general, el concreto se define como la mezcla de áridos finos y gruesos con un aglutinante, como el cemento hidráulico Portland, junto con agua y, ocasionalmente, aditivos. Esta mezcla, una vez producido el proceso de fraguado, el material resultante se consolida en un cuerpo rígido de características pétreas, el cual, con el transcurso del tiempo, desarrolla la capacidad de soportar

elevadas solicitaciones de carga, especialmente esfuerzos de compresión. (Guzman, 2001)

2.2.5. Concreto estructural

El cemento, el agua, los áridos finos y gruesos y, en ocasiones, determinados aditivos conforman el material compuesto conocido como concreto. Una vez endurecido, este material desarrolla una estructura densa y compacta, alcanzando con el tiempo valores no menores a 210 kg/cm², según las especificaciones técnicas estándar.

Según (Abanto, 2009), el concreto estructural recibe esta denominación cuando se prepara, mezcla, transporta y coloca siguiendo especificaciones detalladas que garantizan el cumplimiento de la resistencia mínima de diseño, además de garantizar una buena durabilidad.

Se denomina concreto estructural a todo aquel concreto diseñado y empleado específicamente con propósitos portantes o resistentes a cargas aquí se incluye al concreto simple, así como el concreto reforzado (Ministerio de vivienda,construcción y saneamiento, 2019).

2.2.6. Propiedades del concreto en estado fresco

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido, lo que permite moldearlo fácilmente. Una mezcla muy húmeda puede colarse en moldes, pero no cumple con la definición de "plástico", que implica flexibilidad similar a la arcilla moldeable. En una mezcla plástica, los componentes como arena y grava están suspendidos de manera uniforme, evitando la segregación durante el transporte y formando una mezcla homogénea al endurecerse. Este tipo de concreto fluye lentamente sin desmoronarse ni separarse. En construcción, elementos delgados y con refuerzos densos requieren mezclas trabajables, pero no excesivamente fluidas,

para garantizar resistencia y uniformidad. Los aditivos plastificantes facilitan el manejo y la colocación en estos casos específicos (Kosmatka, 2004).

2.2.6.1. Mezclado

Lograr una mezcla homogénea de concreto requiere atención y precisión. El orden en que los ingredientes se introducen en la hormigonera tiene un impacto significativo en la calidad del producto final, aunque diferentes métodos pueden ser igualmente eficaces si se ajustan factores como el momento exacto de añadir el agua, la cantidad de revoluciones y la velocidad del tambor. Otros elementos críticos incluyen la proporción del volumen de concreto respecto al tamaño del tambor, el tiempo que transcurre desde la dosificación hasta el mezclado, y las características del diseño y estado del tambor y las paletas. Cuando las mezcladoras se mantienen en óptimas condiciones y se utilizan correctamente, permiten una distribución uniforme de los materiales mediante movimientos repetidos de plegado, amasado y rolado, asegurando una mezcla consistente (Kosmatka, 2004).

2.2.6.2. Trabajabilidad

La facilidad con la que los materiales pueden combinarse, manipularse, moverse y colocarse, conservando la uniformidad y con el mínimo esfuerzo, se conoce como trabajabilidad del concreto. El concreto debe adaptarse a los encofrados, refuerzos, así como a las técnicas utilizadas, llenando completamente los espacios, fluyendo hacia esquinas además de superficies, a fin de evitar la segregación de ingredientes, junto con la formación de bolsas de agua o bien la presencia de burbujas de aire. Con el fin de obtener una buena trabajabilidad se requiere una demanda de agua adecuada, la cual está influenciada por diversos factores. Entre los más relevantes se encuentran, la fracción de áridos en la mezcla

y la distribución del tamaño de partículas. Estas variables influyen directamente en el volumen de agua necesario para crear una combinación que sea fácil de colocar y suficientemente consistente. Aplicar con precisión las recomendaciones de la norma ACI 211.1 el peso unitario seco del material en forma suelta determina directamente el volumen de áridos gruesos por metro cúbico, ya que este parámetro refleja de manera integral las características físicas clave del agregado, mientras que la granulometría influye en cómo se distribuyen las partículas, así como el porcentaje de huecos, determina la cantidad de áridos gruesos. Además, el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino afectan su proporción; una arena más fina requiere menos cantidad, permitiendo un mayor uso de agregado grueso para mantener una trabajabilidad adecuada (Rivva, 2004).

2.2.6.3. Exudación

La exudación corresponde al desplazamiento del contenido de agua hacia la capa superior; este proceso ocurre dentro de la mezcla de concreto, fenómeno que ocurre principalmente como consecuencia del asentamiento de las partículas sólidas. Manifestándose este fenómeno poco después de la colocación y compactación del concreto dentro de los encofrados y persiste hasta el inicio del fraguado, momento en el cual se alcanza una mayor cohesión entre los sólidos. La exudación está directamente relacionada con las cualidades del material, el aire presente en la mezcla, así como el empleo de aditivos, el tamaño y geometría del agregado. El uso de arenas debidamente clasificadas y la modificación de la variación en el tamaño de las partículas son dos formas de controlar el exceso del agregado fino. La combinación de arenas finas y gruesas en proporciones óptimas

ayuda a reducir el volumen de exudación al aumentar la superficie específica del material (Rivva, 2004).

2.2.6.4. Consolidación

La vibración del concreto recién mezclado facilita el movimiento de las partículas, disminuyendo la resistencia interna al movimiento y permitiendo que la mezcla adquiera un comportamiento más fluido y homogéneo. Gracias a este proceso, se pueden utilizar mezclas con un mayor porcentaje de áridos gruesos y un menor porcentaje de material fino. Cuando el agregado presenta una gradación suficiente, un tamaño máximo de partícula más alto en el agregado genera un beneficio significativo, ya que contribuye directamente a reducir el volumen de pasta necesario para llenar los espacios intersticiales entre granos, además disminuye de manera notable el área superficial total que requiere ser cubierta por la pasta cementante, por lo que se logra una reducción efectiva en el contenido de cemento así como el requerimiento de agua demandada en la mezcla. Un concreto con la granulometría adecuada del agregado es más fácil de consolidar y colocar. La consolidación adecuada de mezclas más rígidas y de agregado grueso mejora tanto la calidad como la economía del concreto. En contraste, una mala consolidación puede generar un concreto poroso, débil y con menor durabilidad. La vibración mecánica ofrece numerosas ventajas, permitiendo la colocación eficiente de mezclas que serían difíciles de consolidar manualmente en muchas situaciones (Kosmatka, 2004).

2.2.6.5. Contracción

La contracción del concreto se posiciona como una propiedad altamente relevante, ya que está relacionada directamente a la aparición de fisuras. La contracción interna, de carácter irreversible, se produce como consecuencia de la

disminución del volumen de agua durante las reacciones químicas que tienen lugar en la pasta cementante. Por el contrario, la contracción del concreto debida al secado, emerge como una de las principales responsables del agrietamiento, se produce cuando el material pierde humedad tanto en la fase inicial como en la fase posterior al endurecimiento. Este tipo de contracción es parcialmente reversible si se reintroduce el agua perdida. Aunque más adelante se profundizará en los cambios volumétricos del concreto, es importante entender que este material inevitablemente se contrae. Por ello, es crucial tomar medidas para prevenir o controlar la fisuración, ya que en algunos casos solo es posible anticiparla y dirigirla adecuadamente (Pasquel, 1993).

2.2.7. Propiedades de concreto en estado endurecido

El concreto, una vez concluido el proceso de fraguado, presenta un endurecimiento gradual que lo transforma de una condición plástica a un estado sólido. En esta etapa, el material desarrolla propiedades fundamentales como la resistencia y la durabilidad que benefician al sistema constructivo (Matallana, 2019).

2.2.7.1. Resistencia del concreto

La capacidad resistente del concreto experimenta un incremento progresivo con el transcurso del tiempo. Este aumento es más pronunciado durante los primeros días posteriores a su colocación. En términos normativos, la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, mediante ensayos normalizados y bajo condiciones óptimas de curado, se utiliza comúnmente como un indicador clave para evaluar su calidad (Rivera, 2002).

Ensayo de resistencia a compresión

En el diseño estructural la resistencia a compresión constituye uno de los factores determinantes, que permite determinar la capacidad de resistencia y la calidad del concreto. Entender con claridad el significado de f'c resulta absolutamente fundamental según el Reglamento ACI 318-95 y el Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) vigente en Perú, f'c se define como la resistencia a compresión especificada del concreto, este valor representa el nivel mínimo de resistencia que el concreto debe alcanzar a los 28 días de curado en probetas estándar bajo condiciones controladas. Esta resistencia se evalúa en obra midiendo el esfuerzo axial promedio utilizando probetas cilíndricas de 6"x15". Las probetas cilíndricas obtenidas, se curan y ensayan, bajo condiciones controladas según las normas ASTM C38 Y ASTM C39. Cada probeta será sometida a compresión axial dicha carga aumentará progresivamente hasta que la probeta alcance su punto de falla. Este proceso permite determinar con exactitud la capacidad mecánica del espécimen para soportar esfuerzos de compresión, proporcionando un parámetro esencial en la evaluación de sus propiedades mecánicas (Pasquel, 1993).

Figura 1

Prensa hidráulica de compresión



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral

El ensayo de compresión diametral, conforme a la ASTM C496, se emplea para estimar de manera indirecta la resistencia a tracción del concreto, ya que la carga aplicada provoca esfuerzos de tensión que permiten evaluar su respuesta frente a este tipo de solicitación. Este proceso consiste en la aplicación controlada y continua de una carga compresiva a lo largo del diámetro vertical de una probeta de concreto, incrementándose gradualmente hasta que se produce la fractura del espécimen.

La fractura ocurre debido a las tensiones de tracción generadas transversalmente en la probeta sobre su eje diametral. Siguiendo este método, se puede determinar la resistencia indirecta a la tracción del concreto considerando el valor máximo de carga registrada justo antes de que se agrietara. Este ensayo es fundamental para evaluar las propiedades mecánicas del material (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

$$Mr = \frac{2P}{\pi Ld}$$

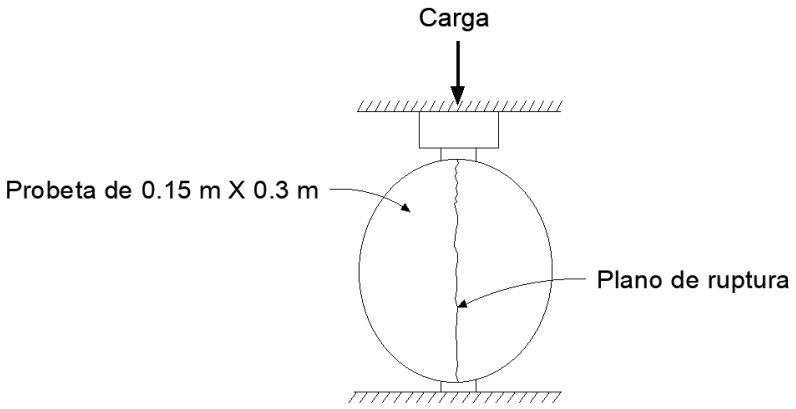
T = Es la resistencia a tracción indirecta, expresada en kg/cm²

P = Corresponde a la carga máxima aplicada hasta la rotura, en kg.

L = Es el diámetro de la probeta, en cm

Figura 2

Prueba de compresión diametral



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8. Ceniza de totora

Mediante combustión controlada de los tallos de totora se constituye una puzolana de origen vegetal. Cuando este residuo es sometido a procesos de calcinación a temperaturas superiores a los 600 °C, desarrolla propiedades cementantes, lo que posibilita su uso en el ámbito de la construcción. Asimismo, su empleo contribuye al fomento de prácticas sostenibles, ya que se establece que los materiales puzolánicos corresponden a sustancias de procedencia natural, tiene una composición principalmente silícea o silicoaluminosa, que, cuando se mezcla con cemento, permiten la obtención de concretos con mejoras en la impermeabilidad y la densidad interna.

De igual manera, reemplazar el cemento con ceniza de totora, se reducen los impactos de la cal y disminuye la emisión de calor durante el proceso de hidratación, especialmente aquellos vinculados a procesos de expansión. Su aplicación se orienta principalmente a obras marítimas y estructuradas alto volumen, tales como obras portuarias, presas, muros de contención y cimentaciones, así como en morteros expuestos a ambientes agresivos debido a la acción de agentes químicos (Kerly Aquino).

2.2.9. Totora

La totora es una especie vegetal acuática perteneciente a la familia de las tifáceas, estrechamente relacionada con el papiro. Esta planta alcanza una altura aproximada de dos a tres metros sobre el nivel del agua. Sus fibras son empleadas en la elaboración de viviendas y embarcaciones artesanales, mientras que los tallos en estado tierno son utilizados como alimento (Graves, 2000).

Figura 3

Planta acuática totora



Fuente: Elaboración propia.

La totora es una especie vegetal de ambientes húmedos y prolifera con abundancia en las riberas del Río Reque, situado en la provincia de Chiclayo en región Lambayeque. En estas zonas, su crecimiento es espontáneo y frecuente, sin embargo, su aprovechamiento es limitado, lo que la convierte en un recurso natural con gran potencial aún no explotado desde enfoques técnicos y ambientales.

Para efectos de la presente investigación, la recolección de la totora se realizará en ambos márgenes del Río Reque, priorizando ejemplares que ya estén secos o que puedan extraerse sin afectar el equilibrio del ecosistema. El material vegetal será procesado mediante etapas de recolección, secado, y calcinación a temperatura controlada, con el fin de producir cenizas con cualidades puzolánicas.

Figura 4

Extracción de la totora en márgenes del río Reque



Fuente: Elaboración propia.

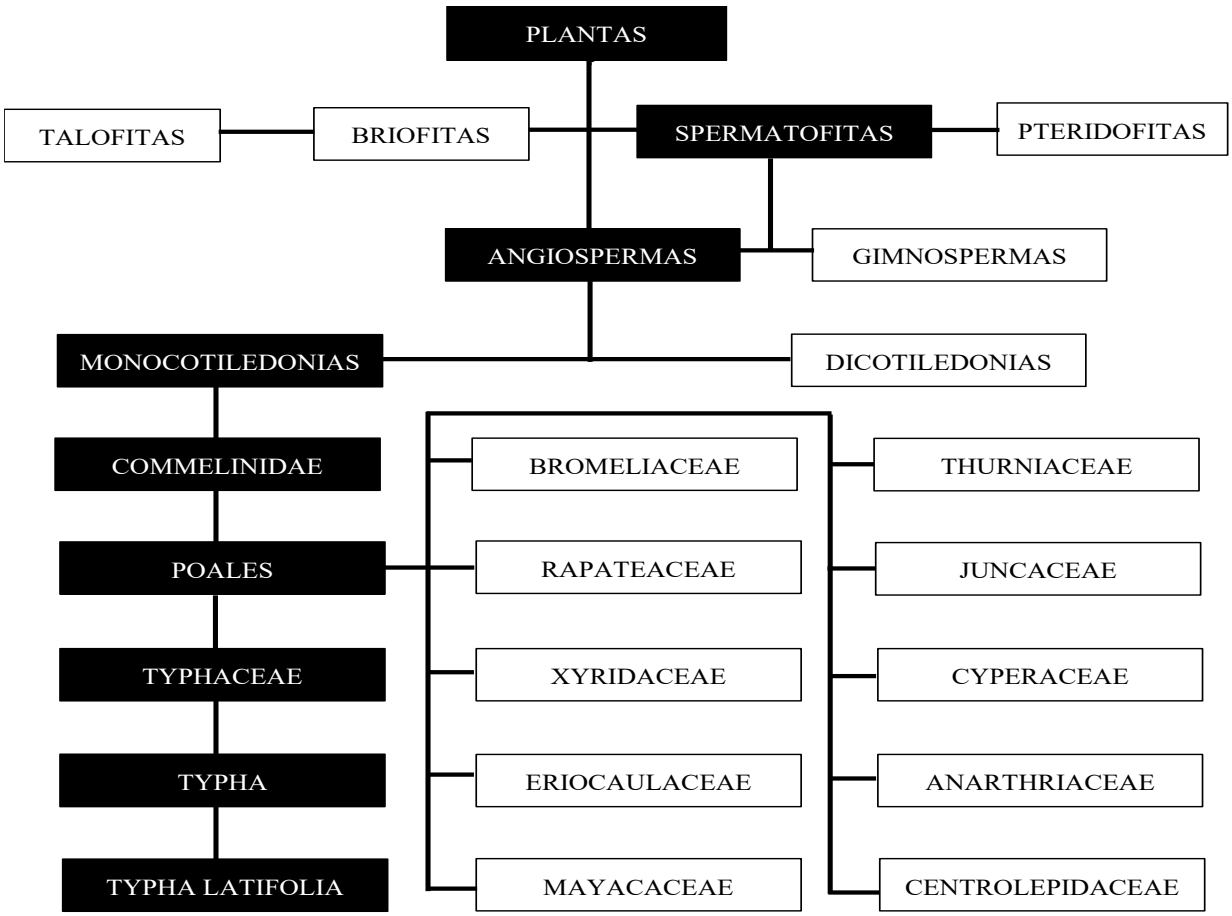
Información de la totora en el Perú

CLASIFICACIÓN:

- Grupo: Angiospermas
- Clase: Monocotiledóneas
- Orden: Poales
- Familia: Typhaceae
- Subfamilia: No aplica (no está dividida en subfamilias)
- Género: Typha
- Especie: Typha latifolia

Figura 5

Taxonomía de la Typha latifolia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Zona de producción de la totora (TYPHA LATIFOLIA)



Fuente: Elaboración propia

2.2.10. Propiedades químicas de la ceniza de totora

En el marco de la exploración al uso de materiales alternativos aporta una opción más sostenible para el sector de la construcción, la ceniza obtenida a partir de la planta totora (Schoenoplectus californicus), Se obtiene resultados del análisis químico realizado permiten apreciar la distribución porcentual de sus principales constituyentes inorgánicos que se muestran.

Figura 7

Caracterización de la ceniza de totora en componentes químicos

Nombre de muestra	Ceniza de Totora
Descripción de muestra	Ceniza
Composición química	Resultados (%)
Dióxido de silicio (SIO_2)	45.36
Óxido de calcio (CAO)	9.84
Trióxido de aluminio (AL_2O_3)	13.68
Trióxido de hierro (FE_2O_3)	5.95
Óxido de potasio (K_2O)	9.51
Óxido de magnesio (MGO)	1.98
Pentóxido de fósforo (P_2O_5)	2.17
Óxido de cobre (CUO)	0.45
Trióxido de azufre (SO_3)	<0.01
Óxido de zinc (ZNO)	0.029
Óxido de manganeso (MNO)	0.014
Pérdida por quemado	11.02

Fuente: Tomado de Fernández (2024) p.45

La ceniza de totora evaluada presenta una fracción predominante de óxidos silíceos y aluminosos, con SiO_2 (45.36%) y Al_2O_3 (13.68%) como componentes principales. En conjunto, estos óxidos constituyen la base asociada a un comportamiento de tipo puzolánico, al poder reaccionar con compuestos cálcicos. Estas características respaldan su potencial aplicación como sustituyente del cemento en concretos estructurales, aportando a la sostenibilidad y al aprovechamiento de la utilización.

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipificación de la investigación

Cuantitativa:

Este estudio se desarrolla bajo una técnica cuantitativa, ya que se sustenta en datos numéricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio en concreto estructural, los cuales fueron posteriormente procesados y analizados. Los resultados permiten evaluar el comportamiento del concreto, mediante el uso de herramientas estadísticas que facilitan la validación de la hipótesis planteada.

Cuasi-experimental:

Dado que la variable independiente está controlada, el estudio se ajusta a la definición de diseño de investigación cuasi-experimental, representada por la incorporación de ceniza de totora empleados como sustituyente del cemento en las concentraciones de 5 %, 8 % y 11 %, para examinar cómo afecta a las características mecánicas del concreto estructural. Los ensayos se desarrollan bajo condiciones controladas de laboratorio, previamente controladas, y los resultados obtenidos son contrastados con una mezcla de referencia.

Aplicada:

La investigación se categoriza de tipo aplicada, puesto que pretende generar conocimiento con un enfoque práctico, orientado a analizar la factibilidad técnica y constructiva del empleo de ceniza de totora para reducir parcialmente el cemento dentro de la producción de concreto. A partir de los resultados alcanzados permitirán plantear una alternativa sostenible, que favorezca la optimización del material y el aprovechamiento de recursos vegetales, dentro del contexto de la ciudad de Chiclayo, región Lambayeque.

3.2. Diseño de Investigación

El diseño experimental se estructuró a partir de una mezcla patrón, utilizada como referencia y mezclas experimentales elaboradas con sustitución parcial del cemento por ceniza de totora en diferentes proporciones, en una primera etapa, se determinaron, las propiedades del concreto de referencia. Posteriormente, con ensayo de laboratorio se evaluaron las mezclas modificadas, permitiendo comparar de manera directa los resultados obtenidos.

Mediante el análisis de los valores obtenidos se permitió detectar variaciones en las propiedades mecánicas y evaluar la incidencia para cada porcentaje de sustitución, con el fin de determinar su comportamiento frente al concreto convencional.

3.3. Población y muestra

Población:

Se definió como población del estudio el conjunto de muestras de concreto fabricadas en laboratorio, correspondientes a 48 probetas cilíndricas, preparadas en el laboratorio. Dichos especímenes fueron fabricados considerando distintas dosificaciones, en las cuales se incorporó ceniza como sustituto parcial del cemento, de acuerdo con el esquema experimental establecido.

Muestra:

La muestra estuvo conformada por la totalidad de los especímenes que integraron la población de estudio, correspondiendo a 48 probetas cilíndricas de concreto, debido a que permitió un manejo adecuado durante los ensayos, lo que se aseguró la recolección de información confiable y representativa para el análisis de los resultados.

Tabla 2

Cantidad de testigos para la resistencia a la compresión de f'c= 210 kg/cm2

Descripción	% de ceniza de totora	Cantidad de probetas sometidos a e		
		7 días	14 días	28 días
Concreto Patrón	0%	3	3	3
	5%	3	3	3
Concreto con ceniza de totora	8%	3	3	3
	11%	3	3	3
Total		36		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Cantidad de probetas programadas para tracción indirecta

Descripción	% De ceniza de totora	Cantidad de probetas sometidos a resistencia a la tracción
		28 días
Concreto patrón	0%	3
	5%	3
Concreto con ceniza de totora	8%	3
	11%	3
Total		12

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

3.4.1. Técnicas de investigación

Se emplearon diversas técnicas como la observación, medición y ensayos de laboratorio además de la técnica de registro sistemático de datos mediante el uso de fichas de registro, las cuales permitieron recopilar, organizar y sistematizar la información obtenida durante la ejecución de los ensayos experimentales. Así mismo, estas fichas fueron empleadas para consignar los resultados correspondientes a las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, garantizando la uniformidad y precisión en los datos (Arias, 2012)

El material vegetal (totora) fue recolectado en las riberas del Rio Reque, seleccionando tallos de desarrollo uniforme. Posteriormente, el material fue secado de forma natural durante aproximadamente 25 días y luego, los tallos secos fueron sometidos a un proceso de calcinación en un horno artesanal especialmente acondicionado para este propósito. Durante esta etapa, la temperatura fue cuidadosamente controlada dentro de un rango de 400 °C a 700 °C, ceniza obtenida fue enfriada, triturada y tamizada mediante mallas normalizadas N.°50, N.°100 y N.°200, con el fin de obtener una fracción fina y homogénea apta para sustituir el cemento.

Los agregados fino y grueso caracterizados mediante ensayos de análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción, conforme a las Normas técnicas Peruanas NTP 400.012, 400.037, 339.185, 400.017, 400.022 y 400.021. estos ensayos permitieron garantizar la compatibilidad de los materiales y la correcta dosificación del concreto.

Así mismo, se elaboraron diseños de mezcla incorporando ceniza de totora para sustituir el cemento en concentraciones de 5%, 8% y 11%. En el estado fresco del concreto se determinaron las propiedades de consistencia (revestimiento), temperatura

y peso unitario, conforme a lo establecido en las NTP 339.035, 339.184 y 339.046, respectivamente.

Finalmente, el comportamiento mecánico del concreto se evaluó mediante ensayos de resistencia a la comprensión y resistencia a la tracción indirecta por comprensión diametral, empleando probetas cilíndricas curadas a 7, 14 y 28 días, de acuerdo con las NTP 3339.034 y 339.084. (Instituto Nacional de Calidad, 2021)

3.4.2. Instrumentos

Para la recolección, sistematización y control de los datos experimentales, se emplearon formatos de registro previamente elaborados, permitió el registro sistemático de los resultados de todos los ensayos realizados en el laboratorio. Estos instrumentos facilitaron la organización de la información, garantizando la uniformidad, trazabilidad y confiabilidad de los datos generados durante la evaluación del concreto estructural con sustitución parcial del cemento por ceniza de totora.

Además, con el fin de definir los materiales, para crear mezclas y determinar las características tanto del concreto recién mezclado como del endurecido, el estudio se basó tanto en las normas ASTM vigentes como en las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Estas normas establecieron los procedimientos y criterios de ensayo utilizados en la investigación, lo que hizo que los resultados fueran válidos y reproducibles.

Entre las principales normas son las relativas a la absorción agregada, el peso unitario, el peso específico y la determinación del contenido de humedad; las relativas al diseño de mezclas de concreto según el método ACI; y las relativas a las pruebas de asentamiento, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción indirecta mediante compresión diametral del concreto.

3.4.3. Equipos

- Estufa de secado eléctrico para uso general.
- Balanza digital calibrada.
- Juego de tamices (para la granulometría de la ceniza y agregados).
- Bandejas metálicas de acero inoxidable.
- Mortero con pisón (mano de mortero), utilizado para la trituración y pulverización de la ceniza de totora.
- Recipientes plásticos y metálicos para almacenamiento de muestras.
- Mezcladora de concreto (trompo).
- Carretilla.
- Cucharones de mezclado.
- Cono de Abrams (ensayo de asentamiento).
- Varilla compactadora cilíndrica.
- Plancha metálica lisa (para ensayo de slump).
- Moldes metálicos cilíndricos para probetas de concreto.
- Martillo de goma.
- Lavatorio de concreto acondicionado para la etapa de curado de probetas.
- Prensa hidráulica.
- Vernier (para medición de dimensiones de probetas).
- Wincha o cinta métrica.
- Probetas graduadas.
- Cono y pisón para ensayo de absorción de arena.
- Juego de bandejas para ensayo de peso unitario.
- Canastilla metálica.
- Equipo de protección personal (EPPs).

- Laptop (para procesamiento y análisis de datos).
- Cámara fotográfica.
- Pizarra acrílica (para registro de datos durante los ensayos).

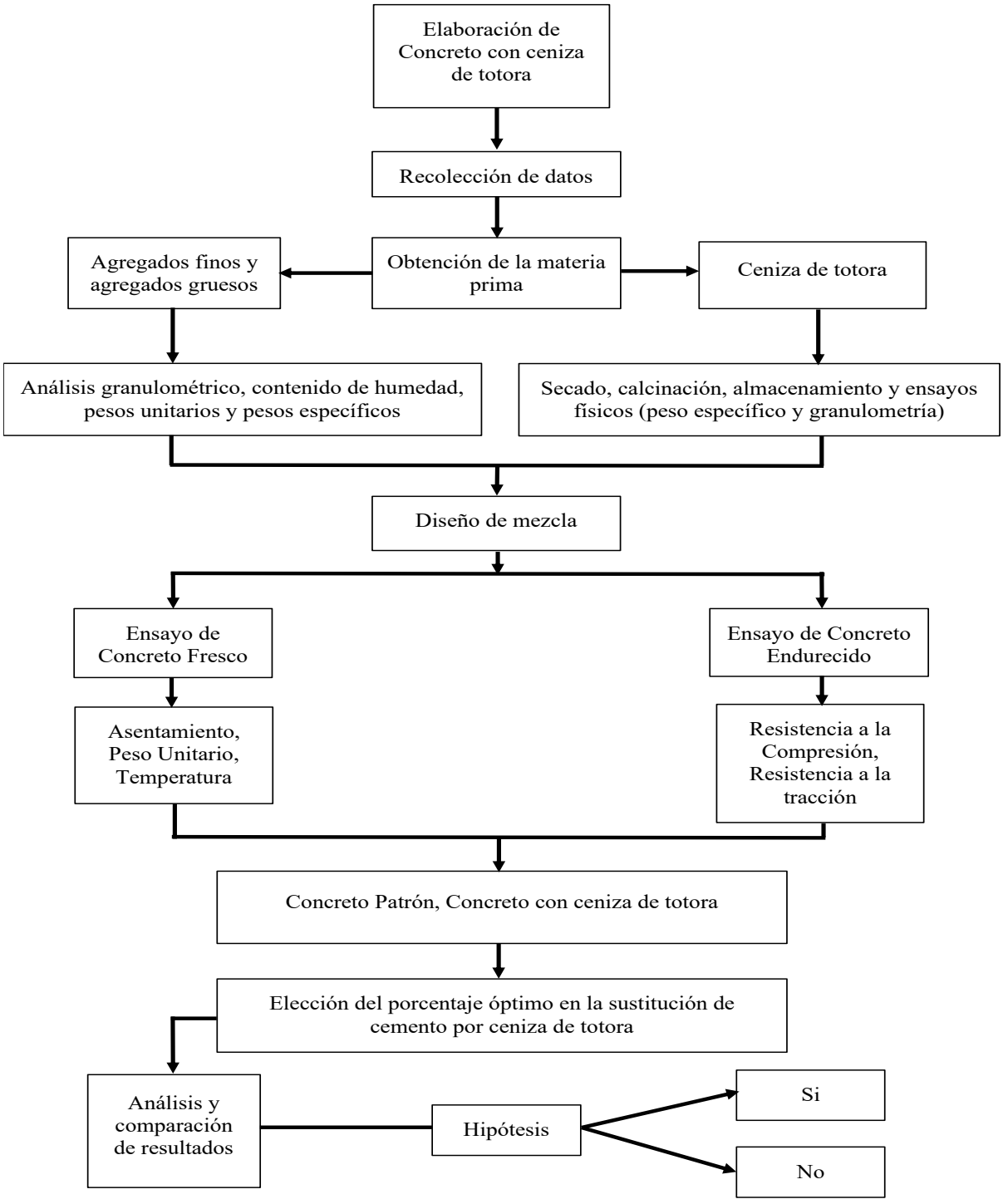
3.4.4. Materiales

- Ceniza de totora
- Cemento Portland Tipo I.
- Agregado fino
- Agregado grueso
- Agua potable.

3.5. Procedimiento

Figura 8

Diagrama de flujo que describe el proceso experimental para la preparación y evaluación del concreto que utiliza ceniza de totora.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico describe el desarrollo del procedimiento experimental, el cual se llevó a cabo de forma ordenada y progresiva, iniciándose con la determinación de propiedades de los componentes que constituyen el concreto. En esta fase, los agregados y la ceniza de totora fueron sometidos a distintos ensayos, con la finalidad de comprobar su aptitud para su empleo en la dosificación. Posteriormente se elaboraron mezclas de concreto, considerando una mezcla de referencia y mezclas con sustitución parcial de cemento utilizando ceniza de totora. Una vez preparado el concreto, se procedió a efectuar los ensayos correspondientes al estado fresco, evaluando el asentamiento, la temperatura y el peso unitario, con el fin de verificar la trabajabilidad, homogeneidad y control volumétrico de las mezclas.

Posteriormente, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en probetas cilíndricas curadas a edades de control. El análisis de los resultados permitió determinar el comportamiento mecánico del concreto modificado y contrastar la hipótesis planteada, por lo que se pudo verificar que la incorporación de ceniza de totora como sustituto parcial del cemento resulta viable dentro de los rangos estudiados.

4. CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Presentación del área en estudio

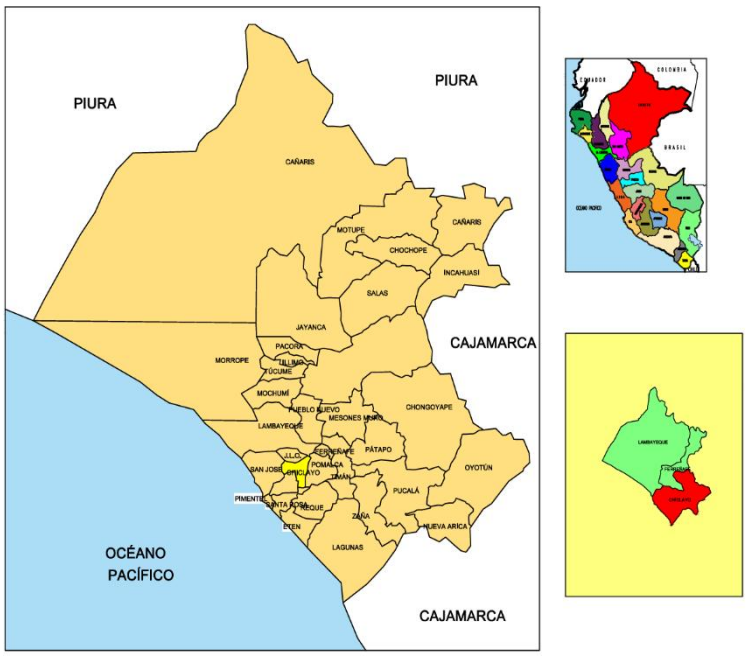
El área de estudio corresponde a la ciudad de Chiclayo, ubicada en la costa norte del Perú. Chiclayo se caracteriza por su emplazamiento en una planicie costera de baja altitud, con condiciones climáticas propias de la región, tales como temperaturas elevadas, escasa precipitación, factores que influyen en el desempeño de los materiales empleados en obras de construcción.

La ciudad constituye un importante centro urbano, comercial y de servicios, con un crecimiento sostenido de la infraestructura y la actividad constructiva. Este contexto genera una alta demanda de concreto para obras civiles, lo que hace pertinente el desarrollo de investigaciones orientadas a evaluar alternativas que optimicen su desempeño mecánico y reduzcan impactos económicos y ambientales. En este sentido, Chiclayo ofrece un entorno representativo y adecuado para el análisis experimental para un concreto estructural con ceniza de totora.

Finalmente, el Río Reque, ubicado en las proximidades de la ciudad, desempeña un papel relevante en el área de estudio, ya que en sus riberas se desarrolla de forma abundante la totora, recurso natural empleado en la presente investigación, la disponibilidad local de esta biomasa vegetal refuerza la viabilidad del estudio y su enfoque en el aprovechamiento sostenible de materiales alternativos para la construcción.

Figura 9

Ubicación geográfica de la provincia de Chiclayo



Fuente: Elaboración propia

4.2. Obtención de materiales

4.2.1. Agregados

En el desarrollo del proyecto, se utilizó la cantera ubicada en Ferreñafe denominada Tres Tomás, fue fuente de la piedra triturada de ¾" utilizada como árido grueso en la construcción de este proyecto. La cantera La Victoria, situada en la provincia de Chiclayo, en la zona de Pátapo, proporcionó el árido fino. Estos materiales fueron elegidos por su disponibilidad y calidad, asegurándose de que cumplían los requisitos para la fabricación de concreto estructural. Para fabricar concreto estructural, estos materiales fueron seleccionados cuidadosamente por su idoneidad en términos de calidad y disponibilidad.

4.2.2. Totora

La totora, utilizada en este estudio como materia prima, es una planta acuática característica de ecosistemas húmedos que crece de forma abundante en las riberas del

río Reque, en la provincia de Chiclayo, región Lambayeque. Esta especie puede alcanzar alturas cercanas a los dos metros y se distingue por su capacidad de desarrollarse a la intemperie, soportando elevadas temperaturas gracias al alto contenido de humedad en su interior. Desde el punto de vista morfológico, presenta una superficie externa lisa y uniforme, mientras que en su parte interna exhibe una estructura reticulada que le otorga cualidades particulares para su transformación en ceniza y su potencial aprovechamiento como reemplazo del cemento en concretos estructurales.

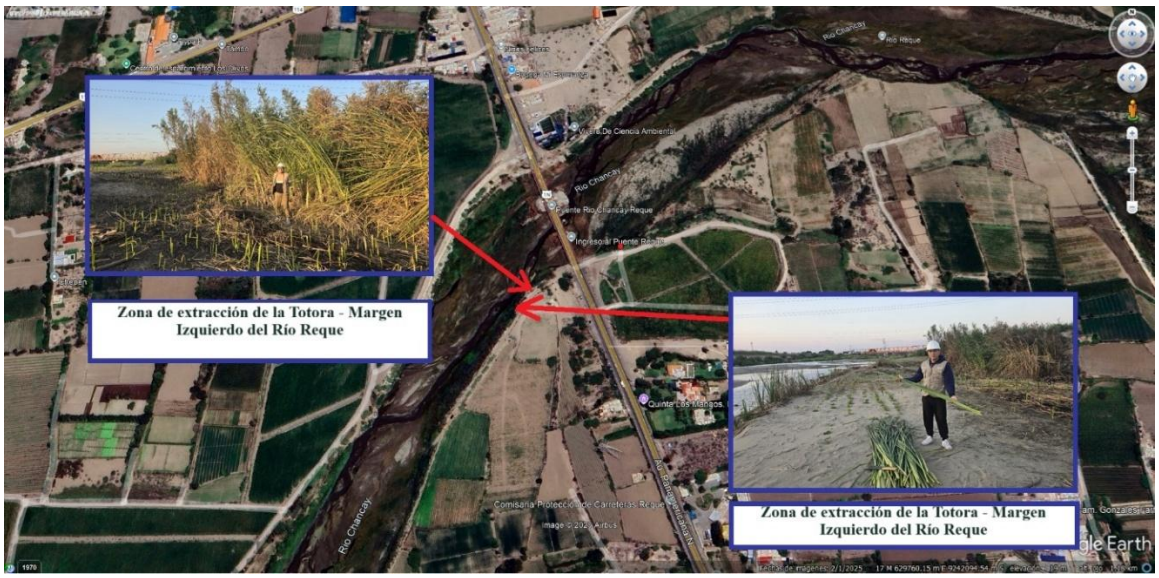
4.2.3. Accesibilidad a las plantaciones de totora

Las plantaciones de totora se encuentran distribuidas a lo largo de las márgenes del río Reque, en zonas accesibles cercanas al puente del río Reque. Para llegar a estos puntos desde la ciudad de Chiclayo, se utiliza la carretera Panamericana Sur, una vía asfaltada en buen estado que permite el tránsito fluido de vehículos menores y de carga ligera.

El transporte se realiza comúnmente en moto lineal, mototaxi, moto carguera o vehículos mayores dependiendo del volumen a trasladar. Desde la carretera principal, se accede a las márgenes del río a través de trochas afirmadas y caminos rurales, los cuales se encuentran en condiciones adecuadas para el tránsito, especialmente en temporada seca.

Figura 10

Localización de zonas de recolección, crecimiento y revegetación de totora en el distrito de Chiclayo



Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Producción de la ceniza de totora

Mediante un procedimiento sistemático se obtuvo la ceniza de totora. En primera instancia, se efectuó la recolección cortando los tallos de totora para obtener el material básico. Para este proceso se seleccionaron ejemplares que presentaban dimensiones y características morfológicas adecuadas, lo que permitió asegurar que el material de partida fuese uniforme

El material recolectado fue sometido a un proceso de secado natural, consistente en su exposición directa y continua a la radiación solar durante un periodo aproximado de veinticinco días. Esta etapa cumplió un rol esencial, ya que la reducción progresiva la humedad es un requisito indispensable para prevenir la generación de humo excesivo, permitiendo que la calcinación se desarrollara de manera uniforme y controlada.

Una vez finalizado el secado, se procedió a la limpieza manual del material, retirando restos de tierra y demás impurezas que pudieran comprometer la pureza de la ceniza. A pesar de su simplicidad, este procedimiento fue crucial para evitar la presencia de impurezas indeseables que podrían haber alterado la composición de la ceniza de totora.

Posteriormente, los tallos secos fueron sometidos a un proceso de calcinación en un horno artesanal especialmente acondicionado para este propósito. Durante esta etapa, la temperatura fue cuidadosamente controlada dentro de un rango de 400 °C a 700 °C, considerado como el plazo ideal para la transformación de los compuestos silíceos y la eliminación de los materiales orgánicos restantes.

Finalmente, la ceniza obtenida fue sometida a un proceso de reducción de tamaño mediante trituración mecánica, lo que facilitó la liberación de partículas finas. A continuación, se procedió hacer el tamizado por las mallas N° 50, N° 100 y N° 200, con el objetivo de obtener fracciones homogéneas y con un tamaño de partícula controlado. Este procedimiento resultó esencial, ya que la finura de la ceniza influye directamente en la capacidad de las mezclas a tener trabajabilidad.

En conjunto, todas estas etapas permitieron obtener un material alternativo con propiedades adecuadas para su uso como sustituto parcial del cemento en la producción de concretos estructurales, contribuyendo a la sostenibilidad de la construcción al aprovechar un recurso natural renovable y disponible en la región.

Figura 11

Recolección de totora de los márgenes del río Reque



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Corte de los tallos, seleccionando ejemplares con dimensiones y características adecuadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

El material recolectado fue sometido a un proceso de secado natural



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Acondicionó un horno artesanal para la combustión de la totora.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Acondicionamiento del material vegetal (totora seca) para luego proceder a su calcinación



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Proceso inicial de calentamiento para calcinación de los tallos de totora (82,9 °C) en horno artesanal, etapa preliminar necesaria antes de alcanzar el rango óptimo de 400–700 °C para generar ceniza.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Retiro de ceniza generada en el proceso de calcinación de totora.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Trituración y posterior tamizado por las mallas N° 50, N° 100 y N° 200 para la ceniza de totora.



Fuente: Elaboración propia.

5. CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Ensayos físicos de los agregados

5.1.1. Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino

Tabla 4

Análisis granulométrico del agregado fino muestra 1

Granulometría de agregado fino muestra 1							
Peso seco inicial de la muestra		**1000.00**	**Gr.**	**Norma:**		**N.T.P.400.037**	
Tamiz		**Peso retenido**	**Retenido (%)**	**Acumulado retenido (%)**	**Pasante acumulado (%)**	**Especificaciones**	
Pulg.	**Mm.**					**Mínimo**	**Máximo**
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
Nº 04	4.75	33.00	3.30	3.30	96.70	95.00	100.00
Nº 08	2.36	140.00	14.00	17.30	82.70	80.00	100.00
Nº 16	1.18	184.00	18.40	35.70	64.30	50.00	85.00
Nº 30	0.60	248.00	24.80	60.50	39.50	25.00	60.00
Nº 50	0.30	241.00	24.10	84.60	15.40	5.00	30.00
Nº 100	0.15	109.00	10.90	95.50	4.50	0.00	10.00
Nº 200	0.075	31.00	3.10	98.60	1.40	0.00	5.00
Platillo		14.00	1.40	100.00	0.00		
Peso total(gr.)		1000.00		**Módulo de finura**			**2.97**

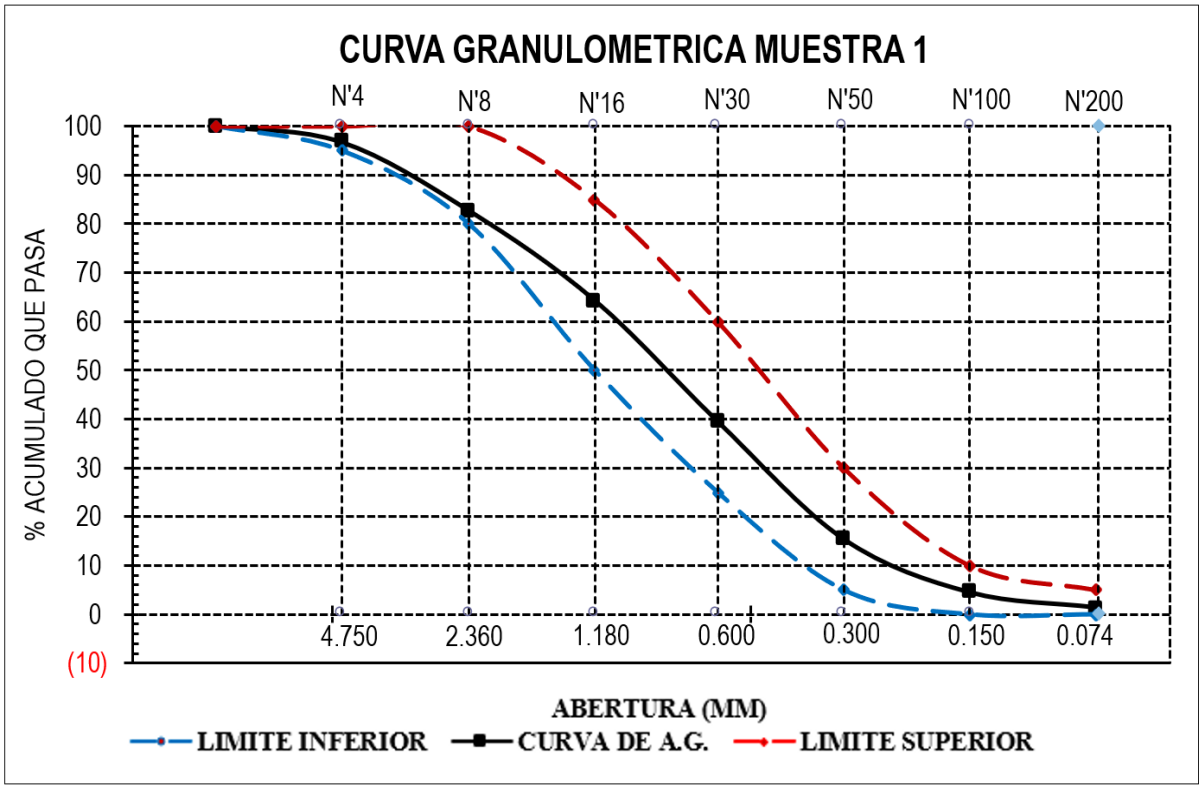
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 se presentan los porcentajes obtenidos de material pasante se encuentran dentro de los parámetros, resaltando el tamiz N.º 4, el cual presentó un 96,70% de material pasante. Asimismo, el módulo de finura calculado fue de 2,97, ubicándose dentro de los

parámetros de acuerdo a la norma de 2,35 a 3,15, por consiguiente, es evidente que el tamaño adecuado lo hace ideal para su uso en la producción de concreto.

Figura 19

Curva granulométrica obtenida para el agregado fino (Muestra 1)



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra una distribución continua y uniforme del tamaño de las partículas, ya que la curva de distribución del tamaño de las partículas de la muestra 1 se ajusta completamente a los parámetros de la norma NTP 400.037. La trayectoria de la curva se mantiene entre los límites normativos, lo que confirma que el agregado fino presenta una graduación compatible con los requisitos normativos. Finalmente, el detalle complementario de las tablas y gráficos obtenidos en el ensayo se visualizan en los anexos correspondientes.

Se realizaron tres ensayos al agregado fino de forma independientes que permitieron calcular el módulo de finura. El promedio de los resultados se empleó como parámetro de

entrada en el diseño de la mezcla. Este valor representa la finura global del material y su determinación permitió establecer con mayor precisión la proporción óptima de agregado en el concreto.

$$Mf = \frac{2.97 + 3.04 + 2.91}{3} = 2.97$$

5.1.2. Análisis Granulométrico por Tamizado del Agregado Grueso

Tabla 5

Análisis granulométrico del agregado grueso-muestra 1

Granulometría de agregado grueso m1							
Peso seco inicial de la muestra		**5000.00**	**gr.**	**Norma:**		**N.T.P.400.037 HUSO 57**	
Tamiz		**Peso retenido**	**Retenido (%)**	**Retenido acumulado (%)**	**Pasante acumulado (%)**	**Especificaciones**	
pulg.	**mm.**					**pulg.**	**mm.**
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	95.0	100.0
3/4"	19.00	630.0	12.6	12.6	87.4	-	-
1/2"	12.70	2562.0	51.2	63.8	36.2	25.0	60.0
3/8"	9.52	1160.0	23.2	87.0	13.0	-	-
Nº 04	4.75	602.0	12.0	99.1	0.9	0.0	10.0
Nº 08	2.36	46.0	0.9	100.0	0.0	0.0	5.0
Platillo		0.0	0.0	100.0	0.0	-	-
Peso total(gr.)		5000.00					
Tamaño máximo			1"	**Tamaño máximo nominal**			3/4"

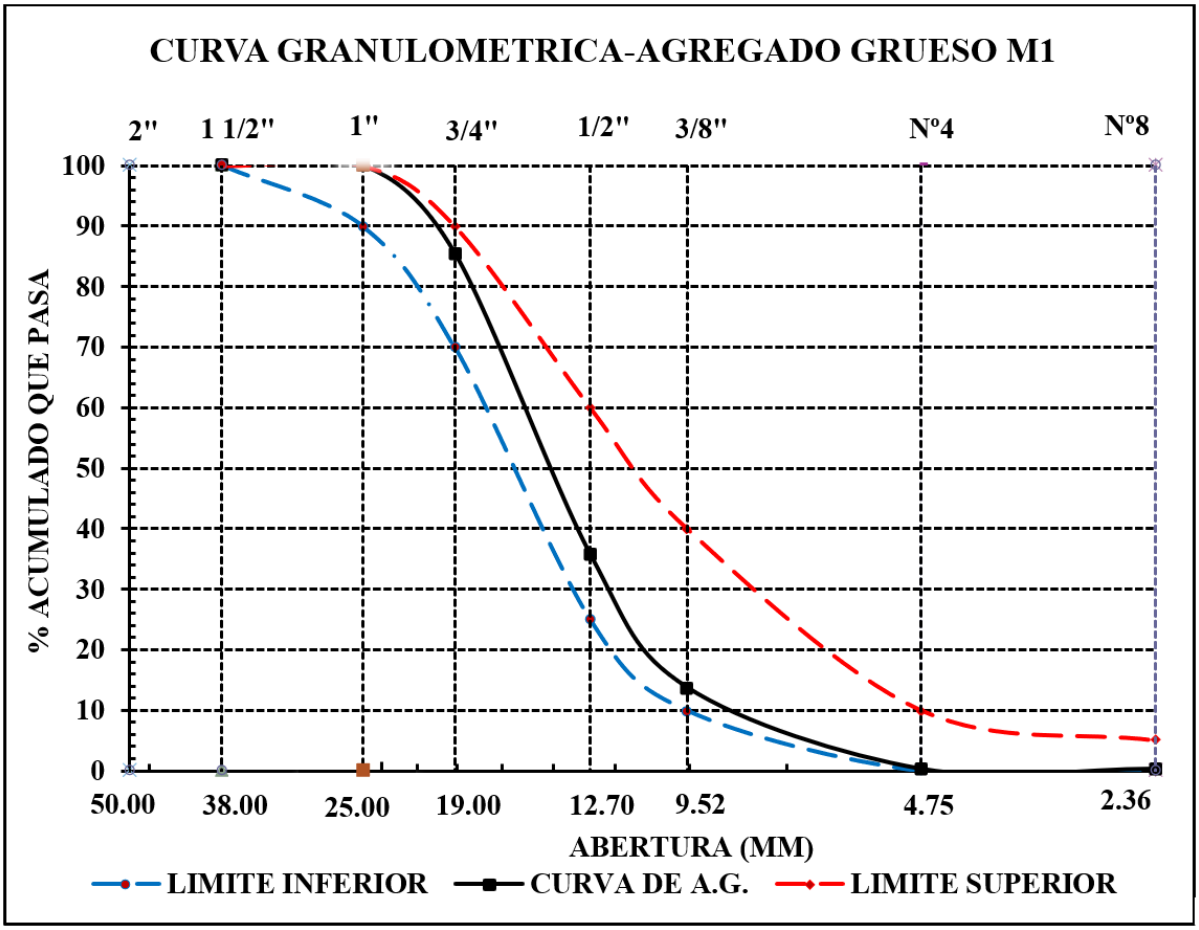
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 presenta los resultados del ensayo realizado al agregado grueso (muestra 1). En ella se comprobó que gradación en tamaño se encontraba en los límites de parámetros definidos según el estudio granulométrico para el huso 57 según la NTP 400.037, evidenciando

un comportamiento granulométrico adecuado. Se observa que el 87.4% del material atraviesa el tamiz de 3/4”, mientras que el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal determinados son de 1" y 3/4", respectivamente.

Figura 20

Curva granulométrica del agregado grueso correspondiente a la muestra 1



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la Figura 19 la gradación es aceptable porque la curva obtenida para el agregado grueso M1 no supera los límites de control (superior e inferior) establecidos para Huso 57 en NTP 400.037.

Así mismo, el detalle del resto de tablas y gráficos correspondientes al análisis se presenta en los anexos.

5.1.3. Contenido de humedad de los agregados

Tabla 6

Determinación del contenido de humedad del agregado fino

Datos de ensayo		
Materiales	Und	Valor
P. Frasco + muestra húmeda	g	6546
Frasco + muestra seca	g	6401
Peso del agua	g.	145
Peso de tara	g.	538
Peso de muestra seca	g.	5863
Contenido de humedad	%	2.47%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Contenido de humedad del agregado grueso

Datos de ensayo		
Materiales	Und	Valor
Frasco + muestra húmeda	gr.	10263
Frasco + muestra seca	gr.	10222
Peso del agua	gr.	41
Peso de tara	gr.	438
Peso de muestra seca	gr.	9784
Contenido de humedad	%	0.42%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a tabla 7, el agregado fino tiene un contenido de humedad del 2,47 %. Del mismo modo, el agregado grueso el contenido de humedad fue de 0,42% de acuerdo a Tabla 8.

5.1.4. Peso volumétrico suelto y varillado de los agregados

Tabla 8

Peso volumétrico suelto agregado fino

Datos	Und	M1	M2	M3	Media
Peso de la muestra + molde	gr.	12016	12013	12021	12017
Peso del molde	gr.	8908	8908	8908	8908
Peso de la muestra	gr.	3108	3105	3113	3109
Volumen del molde	cm^3	2138	2138	2138	2138
Peso volumétrico seco suelto	kg/m^3	1454	1452	1456	1454

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Peso volumétrico varillado agregado fino

Datos	Und	M1	M2	M3	Media
Peso de la muestra + molde	gr.	12420	12440	12400	12420
Peso del molde	gr.	8908	8908	8908	8908
Peso de la muestra	gr.	3512	3532	3492	3512
Volumen del molde	cm^3	2138	2138	2138	2138
Peso volumétrico compactado	kg/m^3	1643	1652	1633	1643

Fuente: Elaboración propia.

El agregado fino registró un valor promedio de 1 454 kg/m^3 de peso volumétrico suelto, como se muestra en los datos de la Tabla 9. Asimismo, según la Tabla 15, el peso volumétrico determinado mediante el método varillado alcanzó un valor promedio de 1.643 kg/m^3.

Tabla 10

Peso volumétrico suelto agregado grueso

Datos	Und	M1	M2	M3	Prom.
Peso de la muestra + molde	gr.	29589	29562	29612	29588
Peso del molde	gr.	9720	9720	9720	9720
Peso de la muestra	gr.	19869	19842	19892	19868
Volumen del molde	cm^3	14100	14100	14100	14100
Peso unitario seco suelto	kg/m^3	1409	1407	1411	1409

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Peso volumétrico varillado agregado grueso

Datos	Und	M1	M2	M3	Prom.
Peso de la muestra + molde	gr.	31610	31622	31591	31608
Peso del molde	gr.	9720	9720	9720	9720
Peso de la muestra	gr.	21890	21902	21871	21888
Volumen del molde	cm^3	14100	14100	14100	14100
Peso unitario compactado	kg/m^3	1552	1553	1551	1552

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11 registró un peso volumétrico suelto promedio de 1409 kg/m^3. Asimismo, en la tabla 12 el peso volumétrico determinado mediante el método varillado alcanzó un valor promedio de 1552 kg/m^3, evidenciando el incremento de la densidad aparente del material como efecto del proceso de compactación.

5.1.5. Peso específico de masa y porcentaje de absorción de los agregados

Tabla 12

Peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado fino

Ensayo de peso específico de masa		
Datos		
Peso del matraz	gr.	222
P. del matraz + Peso de muestra +P. de agua	gr.	1019
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	500
Va: Volumen o peso de agua añadida	gr.	297
Wo: Peso de la muestra seca al horno	gr.	495
V: Peso o Vol. Del frasco volumétrico	cm3	500
Cálculos		
Peso específico de masa = (Wo / V - Va) * 100	g/cm3	2.44
Absorción = (500 – Wo / Wo) * 100	%	1.01
Resultados		
Peso específico de masa	g/cm3	**2.44**
Grado de absorción	%	**1.01**

Fuente: Elaboración propia.

El agregado fino sometido a ensayo obteniendo un peso específico de masa de 2,44 g/cm³, según los datos que se muestran en la tabla 13. De manera similar, el porcentaje de absorción medido (1,01%) indicó una moderada capacidad de retención de agua

Tabla 13

Peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado grueso

Ensayo de peso específico de masa		
Datos		
A =Peso de la muestra seca al horno =	gr.	5000
B= Peso saturado superficialmente seca de la muestra	gr.	5044
C =Peso de la muestra sumergida	gr.	3150
Cálculos		
Peso específico de masa = (A/ B - C) *100	g/cm3	2.64
Absorción del agregado grueso=(B-A/A) *100	%	0.88
Resultados		
Peso específico	g/cm3	**2.64**
Grado de absorción	%	**0.88**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 14, el agregado grueso presenta un peso específico de masa de 2,64 g/cm³, valor acorde con agregados pétreos de origen natural utilizados en concreto. El grado de absorción determinado fue de 0.88%, lo que evidencia una baja porosidad efectiva del material.

5.2. Características físicas de la ceniza de totora

5.2.1. Determinación de la distribución granulométrica de la ceniza de totora

Tabla 14

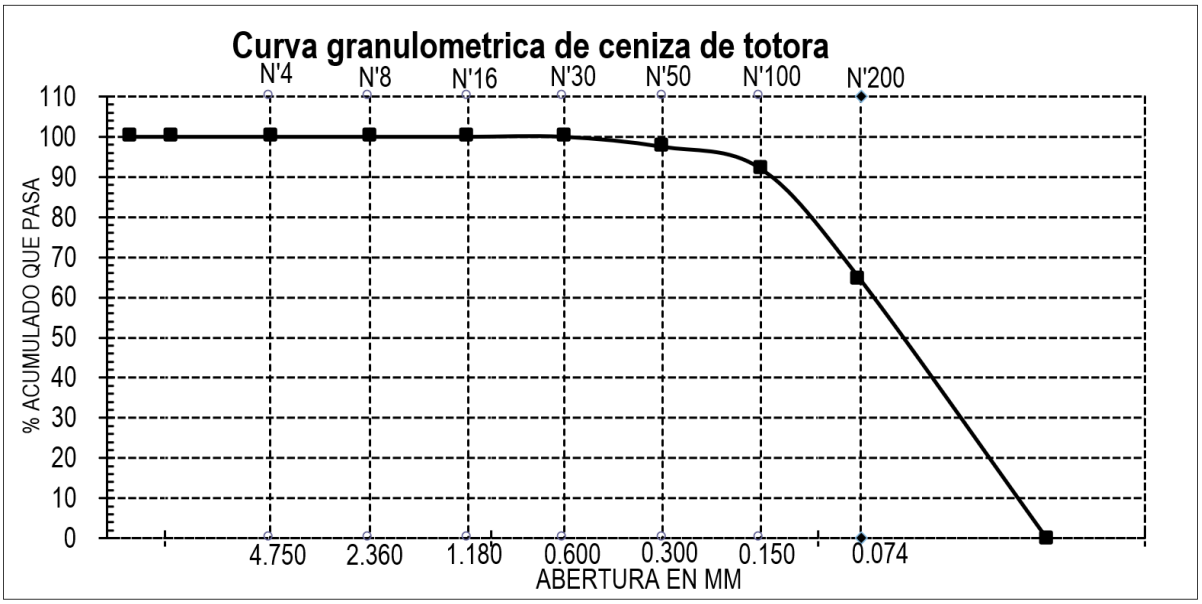
Distribución de tamaños de la ceniza de totora (muestra triturada)

Análisis granulometría de la ceniza de totora					
Peso seco inicial de la muestra		**500.00**	**gr.**		
Tamiz		**Peso Retenido**	**% Retenido**	**% Acumulado retenido**	**% Acumulado que pasa**
pulg.	**mm.**				
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 04	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 08	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 16	1.18	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 30	0.60	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 50	0.30	23.00	4.60	4.60	95.40
Nº 100	0.15	58.00	11.60	16.20	83.80
Nº 200	0.075	104.00	20.80	37.00	63.00
Platillo		315.00	63.00	100.00	
Peso total(gr.)		500.00		**Módulo de finura**	**0.21**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Curva granulométrica-ceniza de totora



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Contenido de humedad de la ceniza de totora

Tabla 15

Contenido de humedad de la ceniza de totora triturada

Contenido de humedad de ceniza de totora		
Datos de ensayo		
Materiales	Und	Valor
P. Frasco + c. de totora húmeda	gr.	798
Frasco + c. de totora seca	gr.	796
Peso del agua	gr.	2
Peso de la tara	gr.	298
Peso de ceniza de totora seca	gr.	498
Porcentaje de humedad	%	0.40%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Peso específico de la ceniza de totora

Tabla 16

Peso específico de la ceniza de totora triturada

Ensayo de peso específico de masa		
Datos		
Peso del matraz	gr.	222
P. de muestra +P. del matraz + P. de agua	gr.	1023
Peso saturado superficialmente seca de la muestra	gr.	500
Va: Volumen o peso del agua añadida	gr.	301
Wo: Peso de la muestra seca al horno	gr.	491
V: Peso o Vol. Del frasco volumétrico	cm3	500
Cálculos		
Peso específico de masa de ceniza de totora= (Wo / V - Va) * 100	g/cm3	2.47

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Diseño de mezclas

El método ACI 211.1 se utilizó como referencia para el proceso de diseño de mezcla se consideró un concreto control con f'c = 210 kg/cm², correspondiente a un concreto estructural de uso común en obras civiles. Este procedimiento permitió definir proporciones adecuadas de los materiales, asegurándose de cumplir con los requisitos de resistencia, trabajabilidad

Para la elaboración de las mezclas se empleó cemento Portland tipo 1, se utilizó la cantera ubicada en Ferreñafe denominada Tres Tomás, fue fuente de la piedra triturada de ¾" utilizada como árido grueso en la construcción de este proyecto. La cantera La Victoria, situada en la provincia de Chiclayo, en la zona de Pátapo, proporcionó el árido fino, ambos agregados fueron escogidos por encontrarse disponibles a nivel regional y porque cumplían con los requisitos técnicos requeridos para su uso en la dosificación del concreto. Finalmente, el agua utilizada en la preparación de las mezclas fue agua potable proveniente de la red pública, permitiendo obtener mezclas representativas y confiables para la evaluación experimental del concreto con sustitución parcial de cemento.

Tabla 17

Propiedades de los agregados

Ensayo	Und	A. Fino	A. Grueso
P. Especifico de masa	Gr/cm3	2.44	2.64
% De absorción	%	1.01	0.88
Contenido de humedad	%	2.47	0.42
Módulo de fineza	-	2.97	---
Tamaño máx. Nominal	"	---	3/4"
P. Unit. Compactado	Kg/m3	1643	1552
P. Unit. Suelto	Kg/m3	1454	1409

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación del concreto patrón expresada en peso y volumen para una relación a/c=0.55

DOSIFICACIÓN

1.Cálculo F´Cr (Resistencia promedio requerida)

Cuando no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores

F´cr= 210 + 84 = 294 kg/cm^2

2. Contenido de aire

Para un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4”

Aire= 2.0 %

3. Contenido de agua

Calculamos el volumen unitario de agua

Tenemos lo siguientes requisitos

TMN= 3/4"

Asentamiento = 3" a 4"

a= 205 $Litros/m^3$

4. Relación a/c (en función del F´cr)

Por resistencia se requiere una relación de a/c: 0.558

Luego la relación agua- cemento de diseño es: **0.55**

5) Contenido de cemento

C = 205 / 0.55 = 372.73 kg

Factor C = 8.8 bol/m^3

6) Cálculo de peso del agregado grueso

Peso agregado grueso=	0.603 m³	*	1552	Kg/m³
Peso agregado grueso=	935.86 kg			

7) Volumen del agregado fino

Volumen del cemento	=	372.73	/ 3110	=	0.120	m³
Volumen del agua	=	205	/ 1000	=	0.205	m³
Volumen del agregado grueso	=	935.86	/ 2640	=	0.354	m³
Volumen del aire	=			=	0.020	m³
					0.699	m³

Volumen del agregado fino	=	1	-	0.699 =	0.301	m³

8) Peso del agregado fino

Peso del agregado fino	=	0.301 m³	* 2440	=	733.61 kg

9) Peso seco de los materiales resumen

Cemento	=	372.73	kg
Agregado fino	=	733.61	kg
Agregado grueso	=	935.86	kg
Agua	=	205	Litros

10) Ajuste por humedad de los agregados

Por humedad total (pesos ajustados)

Agregado fino	=	733.64	(1 + 0.0247) =		751.78	kg

Agregado grueso	=	935.86	(1	+	0.004)	=	939.79 kg

11) Rectificación por absorción de los agregados

Agua para ser añadida por rectificación; por absorción

Agregado fino	=	733.61	(0.2470	- 0.0101)	=	10.71 kg
Agregado grueso	=	935.86	(0.0042	- 0.0088)	=	-4.30 kg
						6.41 L

12) Agua efectiva del mezclado

205	-	(6.41) =	198.59	L	

Tabla 18

Dosificación del concreto patrón expresada en peso y volumen para una relación a/c= 0.55

Dosificación	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
En peso	1	2.02	2.52	22.64 litros/bolsa
En volumen	1	2.01	2.65	22.64 litros/bolsa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Composición expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0.55 de la mezcla patrón.

Composición de la mezcla patrón (1 m³)		
Material	Unidad	Cantidad por m3
Cemento	kg	372.73
Agregado fino	kg	751.73
Agregado grueso	kg	939.79
Agua	litros	198.59

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 95% + ceniza de totora 5%

Composición de la mezcla patrón (1 m³) de la mezcla con cemento 95% + ceniza de totora 5% (por m³)		
Material	Unidad	Cantidad por m3
Cemento	kg	354.09
Ceniza de totora	kg	18.64
Agregado fino	kg	733.61
Agregado grueso	kg	939.79
Agua	litros	198.59

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 92% + ceniza de totora 8%

Composición de la mezcla patrón (1 m³) de la mezcla con cemento 92% + ceniza de totora 8% (por m³)		
Material	Unidad	Peso por m3
Cemento	kg	342.91
Ceniza de totora	kg	29.82
Agregado fino	kg	751.73
Agregado grueso	kg	939.79
Agua	litros	205

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Composición de la mezcla patrón expresada por unidad de volumen (1 m³), a/c = 0,55 con cemento 89% + ceniza de totora 11%

Composición de la mezcla patrón (1 m³) de la mezcla con cemento 89% + ceniza de totora 11% (por m³)		
Material	Unidad	Peso por m3
Cemento	kg	331.73
Ceniza de totora	kg	41.00
Agregado fino	kg	751.73
Agregado grueso	kg	939.79
Agua	litros	205

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Cantidades de materiales por mezcla para probetas cilíndricas de diámetro=0.15m, altura=0.30m con a/c = 0,55

Materiales	**Unidades**	Concreto patrón	Cemento 95% + ceniza de totora 5%	Cemento 92% + ceniza de totora 8%	Cemento 89% + ceniza de totora 11%
Cemento	**kg**	2.423	2.302	2.229	2.156
Agua	**lt**	1.291	1.291	1.291	1.291
Agregado fino	**kg**	4.886	4.886	4.886	4.886
Agregado grueso	**kg**	6.109	6.109	6.109	6.109
Ceniza de totora	**kg**	-	0.121	0.194	0.267

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Ensayos de concreto fresco

5.4.1. Ensayo de consistencia (cono de Abrams)

Tabla 24

Resultados de consistencia (cono de Abrams) para la mezcla control y mezclas con ceniza de totora

Tipo de concreto	Slump (cm)	Slump (pulg)
Concreto patrón	8.50 cm	3.30”
Cemento 95% + ceniza de totora 5%	7.90 cm	3.11”
Cemento 92% + ceniza de totora 8%	7.65 cm	3.01”
Cemento 89% + ceniza de totora 11%	7.00cm	2.76”

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Ensayo de Temperatura del concreto

Tabla 25

Medición de temperatura : mezcla control y mezclas con ceniza de totora (5%,8% y 11%).

Tipo de concreto	Temperatura °c
Concreto patrón	24.°c
Cemento 95% + ceniza de totora 5%	22.6°c
Cemento 92% + ceniza de totora 8%	22.4°c
Cemento 89% + ceniza de totora 11%	23.0°c

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. Ensayo de Peso unitario del concreto

Tabla 26

Peso unitario del concreto fresco: mezcla control y mezclas con ceniza de totora (5%,8% y 11%)

Datos	Und.	Concreto patrón	Cemento 95% + ceniza de totora 5%	Cemento 92% + ceniza de totora 8%	Cemento 89% + ceniza de totora 11%
P. De concreto + molde	Kg	9.798	9.942	9.955	9.906
Peso del molde	Kg	2.078	2.078	2.078	2.078
Peso de concreto	Kg	7.72	7.864	7.877	7.828
Volumen del molde	M^3	0.00305	0.00305	0.00305	0.00305
Peso unitario	Kg/m^3	2531.15	2578.36	2582.62	2566.56

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Ensayo de concreto endurecido

5.5.1. Ensayo de Resistencia a la compresión

5.5.1.1. Resistencia a la compresión del concreto patrón

Tabla 27

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto

Diseño patrón f'c= 210 kg/cm2						
Muestra	Concreto	Edad	Carga axial (kgf)	F'c (kg/cm2)	F'c prom. (kg/cm2)	Relación al concreto patrón (%)

P1		7 días	41000	232.01		
P2	concreto patrón	7 días	42500	240.49	236.25	112%
P3		7 días	40000	226.35		
P4		14 días	42500	240.49		
P5	concreto patrón	14 días	44500	251.81	240.02	114%
P6		14 días	40250	227.76		
P7		28 días	42250	239.08		
P8	concreto patrón	28 días	45500	257.47	249.92	119%
P9		28 días	44750	253.23		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.2. Resistencia a la compresión del concreto patrón con sustitución del cemento por 5% de ceniza de totora

Tabla 28

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 5% de ceniza de totora

Diseño patrón f'c= 210 kg/cm2 con cemento 95% + ceniza de totora 5%

Muestra	concreto	Edad	Carga axial (kgf)	F'c (kg/cm2)	F'c prom. (kg/cm2)	Relación al concreto patrón (%)
P10		7 días	38250	216.44		
P11	cemento 95% + ceniza de totora 5%	7 días	34750	196.64	218.33	104%
P12		7 días	42750	241.91		
P13	cemento 95% + ceniza de totora 5%	14 días	42500	240.49	240.49	115%
P14		14 días	37250	210.79		

P15		14 días	47750	270.20		
P16		28 días	46250	261.71		
P17	cemento 95% + ceniza de totora 5%	28 días	46000	260.30	267.37	127%
P18		28 días	49500	280.10		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.3. Resistencia a la compresión del concreto patrón con sustitución del cemento por 8% de ceniza de totora

Tabla 29

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 8% de ceniza de totora

Diseño patrón f'c= 210 kg/cm2 con cemento 92% + ceniza de totora 8%

MUESTRA	Concreto	Edad	Carga axial (kgf)	F'c (kg/cm2)	F'c prom. (kg/cm2)	Relación al concreto patrón (%)
P19		7 días	37750	213.61		
P20	Cemento 92% + ceniza de totora 8%	7 días	43250	244.74	229.18	109%
P21		7 días	39000	220.69		
P22		14 días	41000	232.01		
P23	Cemento 92% + ceniza de totora 8%	14 días	40750	230.59	231.06	110%
P24		14 días	40750	230.59		
P25		28 días	44250	250.40		
P26	Cemento 92% + ceniza de totora 8%	28 días	50250	284.35	265.49	126%
P27		28 días	46250	261.71		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.1.4. Resistencia a la compresión del concreto patrón con sustitución del cemento por 11% de ceniza de totora

Tabla 30

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto con sustitución del cemento por 11% de ceniza de totora

Diseño patrón f'c= 210 kg/cm2 con cemento 89% + ceniza de totora 11%

Muestra	concreto	Edad	Carga axial (kgf)	f'c (kg/cm2)	f'c prom. (kg/cm2)	Relación al concreto patrón (%)
P28	cemento 89% + ceniza de totora 11%	7 días	40500	229.18	228.23	109%
P29		7 días	43000	243.32		
P30		7 días	37500	212.20		
P31	cemento 89% + ceniza de totora 11%	14 días	41500	234.83	232.01	110%
P32		14 días	41500	234.83		
P33		14 días	40000	226.35		
P34	cemento 89% + ceniza de totora 11%	28 días	50500	285.76	254.64	121%
P35		28 días	47000	265.96		
P36		28 días	37500	212.20		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Tabla 31

Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta del concreto a los 28 días de curado del concreto patrón y concreto con sustitución del cemento por 5%,8% y 11% de ceniza de totora

Muestra	Concreto	Edad	Carga axial (kgf)	F'c (kg/cm2)	F'c prom. (kg/cm2)
P1	concreto patrón	28 días	19250	27.23	27.47
P2		28 días	19000	26.88	
P3		28 días	20000	28.29	
P4	cemento 95% + ceniza de totora 5%	28 días	19000	26.88	27.59
P5		28 días	19500	27.59	
P6		28 días	20000	28.29	
P7	cemento 92% + ceniza de totora 8%	28 días	18000	25.46	24.76
P8		28 días	17250	24.40	
P9		28 días	17250	24.40	
P10	cemento 89% + ceniza de totora 11%	28 días	11000	15.56	19.10
P11		28 días	15500	21.93	
P12		28 días	14000	19.81	

Fuente: Elaboración propia.

6. CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Esta investigación tiene como objetivo analizar e interpretar los resultados con el fin de evaluar el impacto del uso de ceniza de totora como sustituto parcial del cemento en las propiedades mecánicas y físicas del concreto estructural fabricado en Chiclayo, región de Lambayeque. Para ello, se adopta como referencia un concreto patrón diseñado con una resistencia especificada de f'c = 210 kg/cm², el cual permite establecer una base comparativa frente a las mezclas que incorporan ceniza de totora en proporciones de 5%, 8% y 11%.

El enfoque de análisis considera, en primera instancia, la interpretación de las propiedades físicas de los materiales constituyentes, principalmente los agregados fino y grueso, debido a que estas características condicionan la trabajabilidad, la compactación y el desarrollo resistente del concreto. Posteriormente, se evalúa el desempeño del concreto patrón en estado fresco y endurecido, con la finalidad de verificar la validez del diseño de mezcla y asegurar su confiabilidad como referencia experimental.

Asimismo, el análisis se orienta a identificar las variaciones en el comportamiento del concreto asociadas a la incorporación de ceniza de totora, tanto en términos de propiedades físicas como mecánicas. La comparación entre las distintas dosificaciones permite reconocer tendencias, ventajas y posibles limitaciones del uso de este material como sustituto parcial del cemento. Finalmente, los resultados son interpretados en función de los objetivos planteados, con el fin de determinar el porcentaje de reemplazo que ofrezca el mejor equilibrio entre desempeño estructural y eficiencia del material, así como evaluar el grado de cumplimiento de la hipótesis de investigación.

6.1. Interpretación de las propiedades físicas de los agregados

Para la interpretación se realizarán pruebas de laboratorio en agregados finos y gruesos para comprender sus cualidades físicas de los agregados utilizados en el diseño de

mezclas. Los resultados obtenidos permiten caracterizar el comportamiento de los materiales y verificar que son adecuados para su uso en la producción de concreto.

Figura 22

Síntesis de las características físicas de los agregados fino y grueso

Ensayo	Und	A. Fino	A. Grueso
Peso específico de masa	Gr/cm3	2.44	2.64
Contenido de absorción	%	1.01	0.88
Contenido de humedad	%	2.47	0.42
Módulo de fineza	-	2.97	---
Tamaño máx. nominal	pulg.	---	3/4"
Peso unitario compactado	kg/m3	1643	1552
Peso unitario suelto	kg/m3	1454	1409

Fuente: Elaboración propia.

El agregado fino presenta un módulo de fineza de 2.97, se encuentra dentro del rango recomendado por la normativa técnica vigente. Esta condición favorece una adecuada trabajabilidad y una correcta compactación de la mezcla.

Por su parte, el agregado grueso evaluado registra un tamaño máximo nominal de 3/4", característica compatible con los requerimientos establecidos para concreto. La conformación granulométrica de ambos agregados permite inferir que la distribución de tamaños es adecuada en consecuencia la mezcla muestra un comportamiento más cohesivo y una reducción de vacíos, debido a que su distribución granulométrica se ajusta a los límites establecidos por la NTP 400.037.

El contenido de humedad determinado para el agregado fino fue de 2.47%, el agregado grueso presentó un contenido de humedad de 0.42%, valor relativamente bajo que indica una menor cantidad de agua retenida en sus partículas, reduciendo la necesidad de correcciones significativas en la dosificación.

El agregado fino presentó un peso específico de masa de 2.44 g/cm³ y una absorción de 1.01%, lo que indica una porosidad moderada y una capacidad de absorción controlable. En cuanto al peso volumétrico, se obtuvieron valores de 1454 kg/m³ en condición suelta y 1643 kg/m³ en condición compactada, evidenciando una mejora en la densidad aparente del material al ser sometido a compactación.

Por su parte, el agregado grueso alcanzó un peso específico de masa de 2.64 g/cm³ y una absorción de 0.88%, lo que refleja una menor porosidad en comparación con el agregado fino. Los valores de peso volumétrico obtenidos fueron de 1409 kg/m³ en estado suelto y 1552 kg/m³ en estado compactado, indicando una adecuada capacidad de empaquetamiento del material.

En conjunto, al verificarse que los agregados cumplen, mostrando valores de humedad y absorción controlables, se puede interpretar que las variaciones observadas no parecen estar vinculadas a cambios en los agregados pétreos utilizados, sino el comportamiento de las mezclas de concreto se atribuye principalmente a la incorporación de la ceniza de totora como sustituyente del cemento.

6.2. Interpretación del comportamiento del concreto patrón (f'c = 210 kg/cm²)

Con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de ceniza de totora en mezclas de concreto estructural, se estableció una mezcla de referencia con resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm². El análisis de su comportamiento en estado fresco y endurecido permite verificar la idoneidad del diseño de mezcla y la confiabilidad de los resultados experimentales obtenidos.

Comportamiento del concreto patrón en estado fresco

El ensayo de asentamiento realizado al concreto patrón registró un valor de 8.50 cm (3.30”), lo que indica una trabajabilidad media adecuada para la colocación y compactación del concreto en elementos estructurales. Este valor refleja un equilibrio apropiado entre fluidez y cohesión, evitando fenómenos de segregación o exudación.

La temperatura del concreto fresco fue de 24 °C, valor que se encuentra dentro de un rango normal para condiciones ambientales de la región de Chiclayo, Lambayeque. Desde el punto de vista técnico, esta condición es favorable, ya que no genera aceleración ni retardación significativa del proceso de hidratación del cemento.

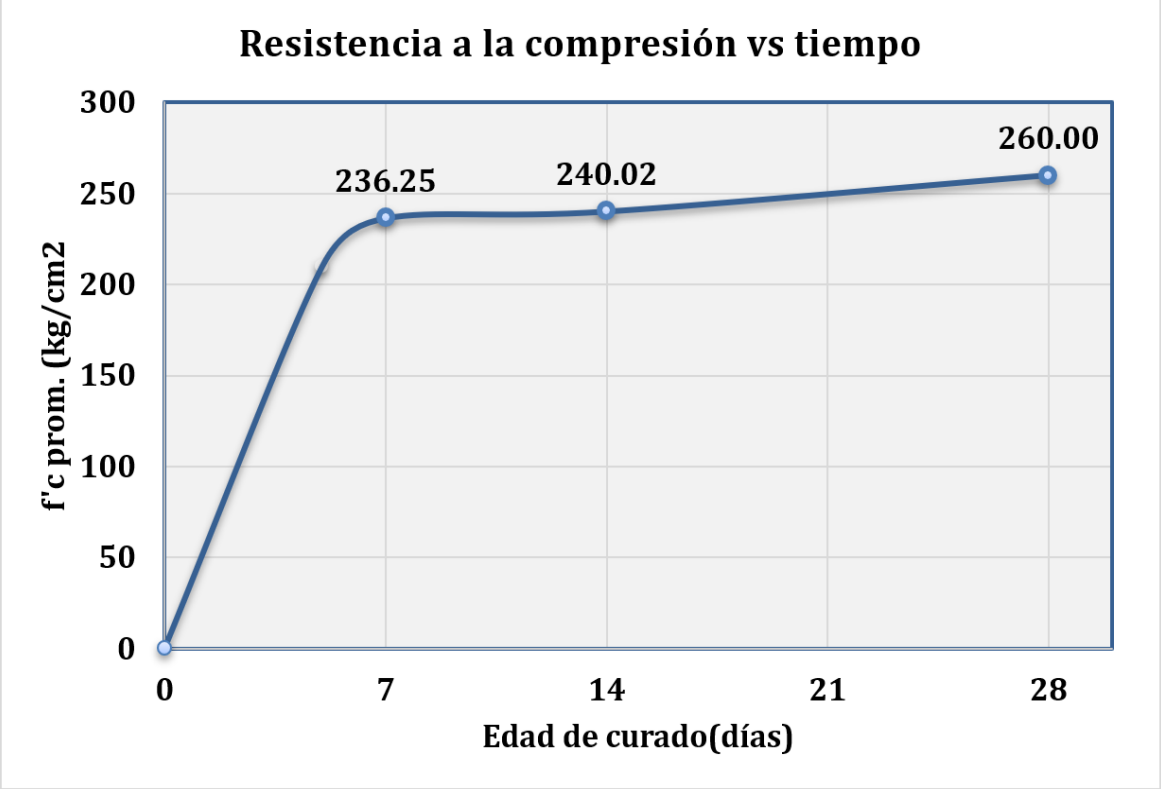
Asimismo, el peso unitario del concreto patrón alcanzó un valor de 2531.15 kg/m³, lo que evidencia una adecuada compactación de la mezcla y una correcta proporción entre los materiales constituyentes. Este resultado sugiere una baja presencia de vacíos internos, condición que contribuye positivamente al desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.

Comportamiento del concreto patrón en estado endurecido

El desempeño del concreto patrón en condición endurecida se analiza a partir de los valores de resistencia a compresión obtenidos experimentalmente, los cuales permiten evaluar la evolución de su capacidad mecánica a lo largo del tiempo de curado. Este análisis resulta fundamental para comprobar la coherencia del diseño de mezcla y establecer una base de referencia confiable para la comparación con los concretos modificados.

Figura 23

Comportamiento resistente del concreto patrón vs periodo de curado.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diseño sugerido, los resultados de la prueba de resistencia a la compresión demuestran un desarrollo resistente progresivo y consistente con el diseño planteado. Se obtuvo tras 7 días de curado el concreto patrón registró una resistencia promedio de 236,25 kg/cm², lo que supone alrededor del 112% de la resistencia estipulada. Este comportamiento indica un adecuado proceso de hidratación inicial y una correcta interacción entre los materiales.

La resistencia promedio a los 14 días fue de 240,02 kg/cm², un incremento respecto al diseño inicial y alrededor del 114% del valor objetivo. Este resultado confirma la continuidad del desarrollo resistente del concreto y evidencia que el diseño de mezcla permite alcanzar resistencias superiores a la especificada incluso antes de los 28 días.

Finalmente, a los 28 días, el concreto patrón presentó una resistencia promedio de 249.92 kg/cm², equivalente al 119% de la resistencia de diseño. Este valor demuestra que el concreto patrón no solo ajusta a los requisitos, sino que supera ampliamente los parámetros estructurales establecidos, validando su uso como referencia experimental confiable para la comparación con los concretos que incorporan ceniza de totora.

En cuanto al concreto patrón la resistencia promedio a tracción indirecta, a 28 días alcanzó un valor promedio de 27.47 kg/cm². Este resultado es coherente con los valores esperados para concretos de resistencia similar y se asocia de manera favorable con la resistencia a compresión, en consecuencia, el material presenta un comportamiento mecánico equilibrado y una adecuada adherencia interna de la matriz cementicia.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que el concreto patrón presenta un comportamiento físico y mecánico satisfactorio, con adecuada trabajabilidad, correcta densidad y resistencias superiores a las especificadas de diseño. Estas condiciones permiten afirmar que el concreto patrón proporciona una base buena y fiable para analizar el efecto del reemplazo parcial de cemento por ceniza de totora, reduciendo la influencia de variables externas y asegurando que las diferencias observadas en las mezclas modificadas se atribuyan principalmente al material sustituyente.

6.3. Interpretación del comportamiento del concreto con sustitución parcial de cemento por ceniza de totora

En esta sección comparamos el desempeño del concreto patrón con el del concreto que contiene ceniza de totora como sustituto parcial del cemento al 5%, 8% y 11% observando cómo se comporta el concreto cuando está húmedo y después del curado.

Comportamiento del concreto en estado fresco

El ensayo de asentamiento muestra una disminución progresiva de la trabajabilidad conforme se incrementa el porcentaje de sustitución de cemento por ceniza de totora. El

concreto con 5% de reemplazo presentó un asentamiento de 7.90 cm, mientras que los concretos con 8% y 11% alcanzaron valores de 7.65 cm y 7.00 cm, respectivamente. Esta tendencia indica un incremento en el requerimiento de agua en el concreto conforme se adiciona ceniza de totora, probablemente debido al aumento de la superficie específica del material fino, lo que reduce ligeramente la fluidez del concreto.

Sin embargo, los valores obtenidos son adecuados para la colocación y compactación de concreto estructural, lo que evidencia que, aun con mayores porcentajes de sustitución, la trabajabilidad no se ve comprometida de manera crítica.

La temperatura del concreto fresco osciló entre 22.4 °C y 23.0 °C para todas las mezclas con ceniza de totora, valores ligeramente inferiores a los registrados en el concreto patrón. Desde un punto de vista técnico, estas temperaturas son favorables, sin generar efectos de aceleración no previstos en la hidratación, permitiendo un comportamiento mecánico más uniforme.

En cuanto al peso unitario, los concretos con sustitución parcial presentaron valores de 2578.36 kg/m³ para el 5%, 2582.62 kg/m³ para el 8% y 2566.56 kg/m³ para el 11%. Estos valores son ligeramente superiores al del concreto patrón, lo que sugiere una mejor compactación de la mezcla y un posible efecto de relleno de la ceniza de totora, contribuyendo a una matriz más densa.

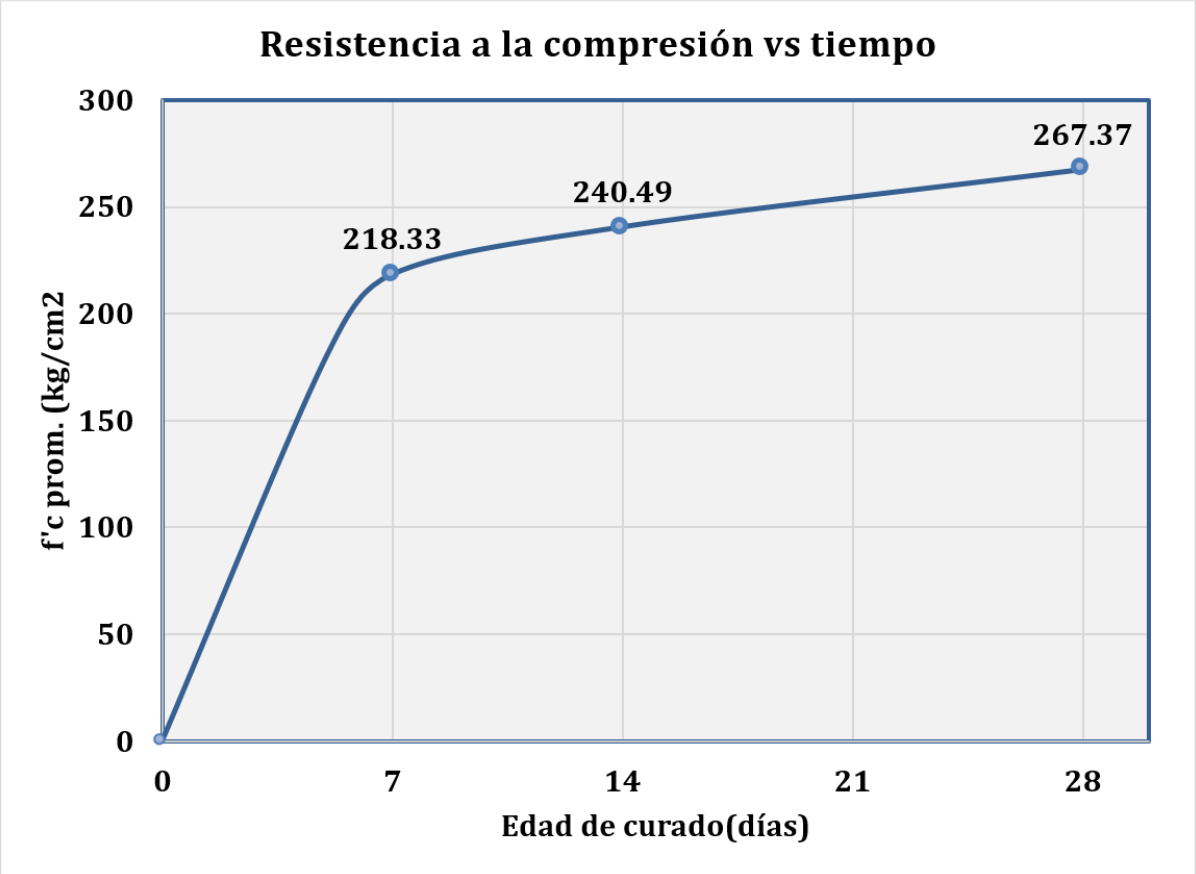
Comportamiento del concreto en estado endurecido

Resistencia a la compresión

El análisis evidencia la resistencia a compresión evidencia que la incorporación de ceniza de totora influye en el desarrollo resistente del concreto, observándose comportamientos diferenciados según el porcentaje de sustitución.

Figura 24

Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora



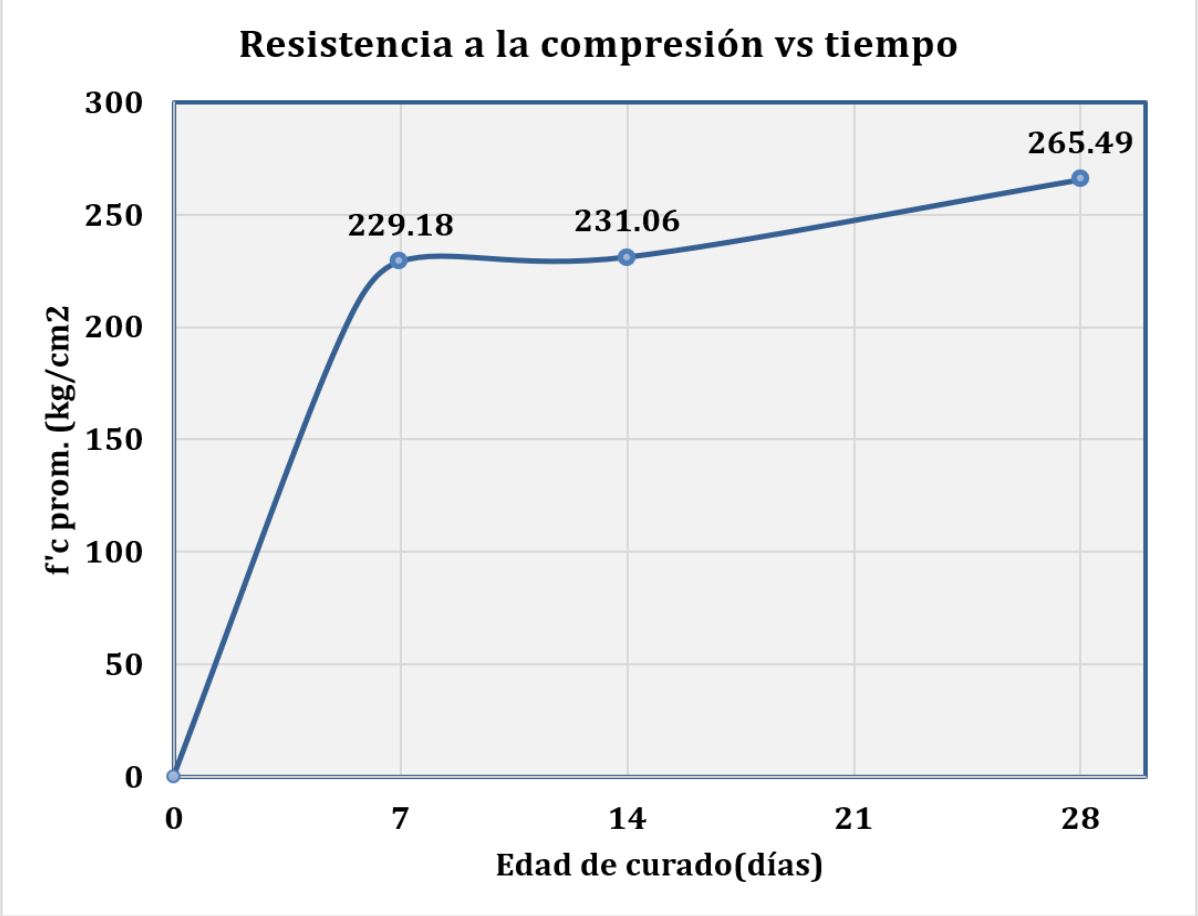
Fuente: Elaboración propia.

La combinación con 5% de ceniza de totora registró a los 7 días una resistencia promedio de 218,33 kg/cm², ese valor representa aproximadamente el 104% del concreto de referencia, lo que indica que el reemplazo parcial no afecta negativamente el desarrollo resistente en edades tempranas. Se alcanzó una resistencia promedio era de 240,49 kg/cm²,

tras los 14 días, lo que supone un 115 % del concreto patrón. Después de 28 días, alcanzó los 267,37 kg/cm², lo que supone un 127 % del concreto base. Estos datos indican que la ceniza de totora, en esta proporción, contribuye positivamente al desarrollo resistente, posiblemente debido a reacciones puzolánicas que se intensifican con el tiempo.

Figura 25

Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora



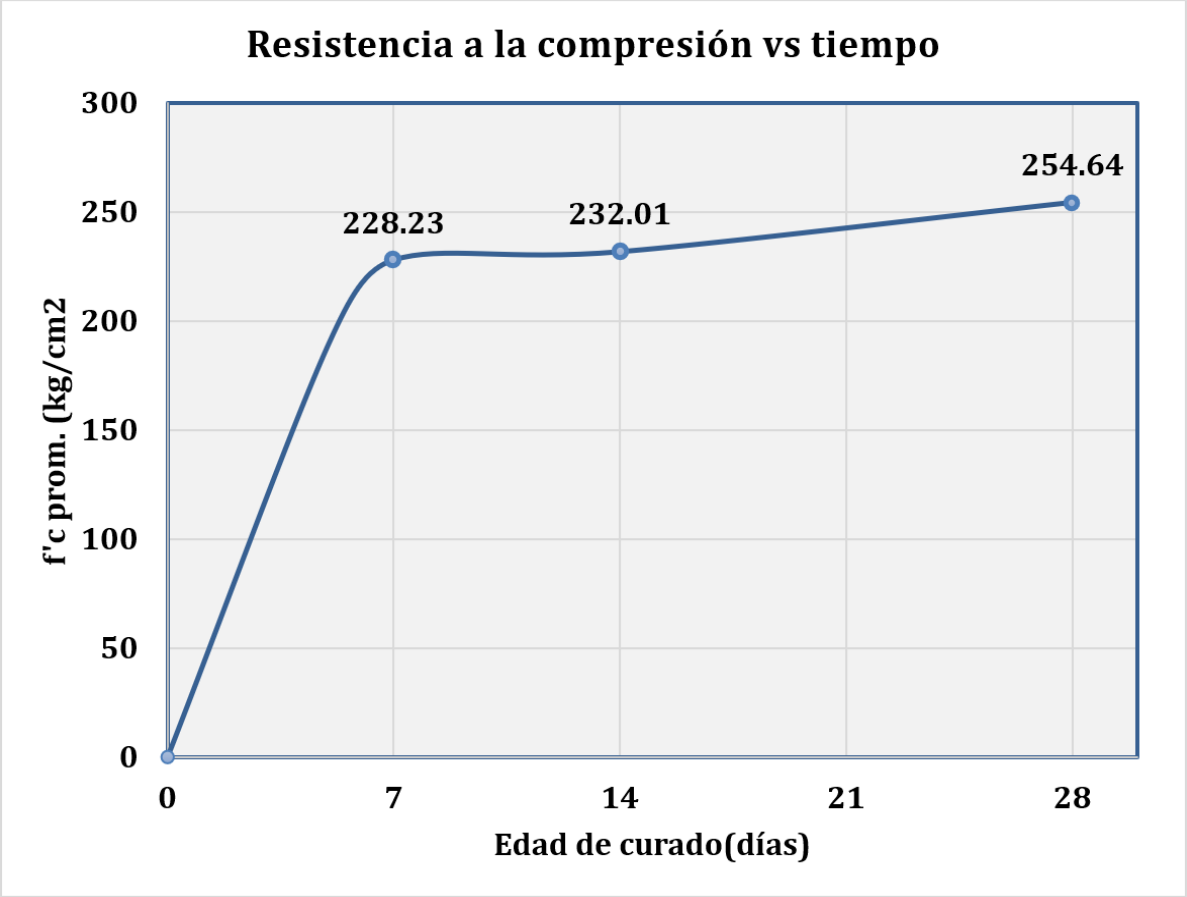
Fuente: Elaboración propia.

La mezcla con 8% de ceniza de totora en un periodo de curado de 7 días, registro una resistencia promedio de 229,18 kg/cm², superando tanto al concreto patrón como a la dosificación con 5% de sustitución. A los 14 días se obtuvo una resistencia de 231.06 kg/cm² (110%), mientras que a los 28 días se alcanzó un promedio de 265.49 kg/cm², equivalente al 126% del concreto patrón. Este comportamiento indica que el 8% de ceniza

de totora mantiene un desempeño mecánico favorable, aunque el incremento de resistencia entre 14 y 28 días es ligeramente menor en comparación con el 5%.

Figura 26

Evolución de f'c vs periodo de curado del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora



Fuente: Elaboración propia.

Con una sustitución del 11% por ceniza de totora, la mezcla mostró luego de un periodo 7 días la mezcla registró un valor promedio de resistencia de 228,23 kg/cm², cercano al obtenido con el 8%. Al continuar el curado, la resistencia subió a 232,01 kg/cm² a los 14 días, lo que representa el 110% respecto al concreto de referencia. A los 28 días, el valor promedio llegó a 254,64 kg/cm², equivalente al 121% del mismo concreto patrón. Si bien este valor sigue siendo superior al concreto patrón, se observa una reducción del incremento resistente en comparación a dosificaciones con menores porcentajes de

reemplazo, aunque el desempeño final se mantiene por encima del concreto convencional, lo que sugiere la existencia de un límite técnico a partir del cual el reemplazo de cemento comienza a afectar la eficiencia del sistema cementante.

Resistencia a la tracción indirecta

La mezcla con 5% de ceniza de totora en un periodo de 28 días de curado una presento una resistencia a tracción indirecta de 27,59 kg/cm², ligeramente mayor que la del concreto patrón, evidenciando una mejora moderada frente a esfuerzos de tracción

En cuanto a la mezcla con 8% de sustitución alcanzó un valor promedio de resistencia de 24.76 kg/cm², valor que, si bien es inferior al del concreto patrón, se encuentra en un rango aceptable para concretos estructurales de resistencia similar.

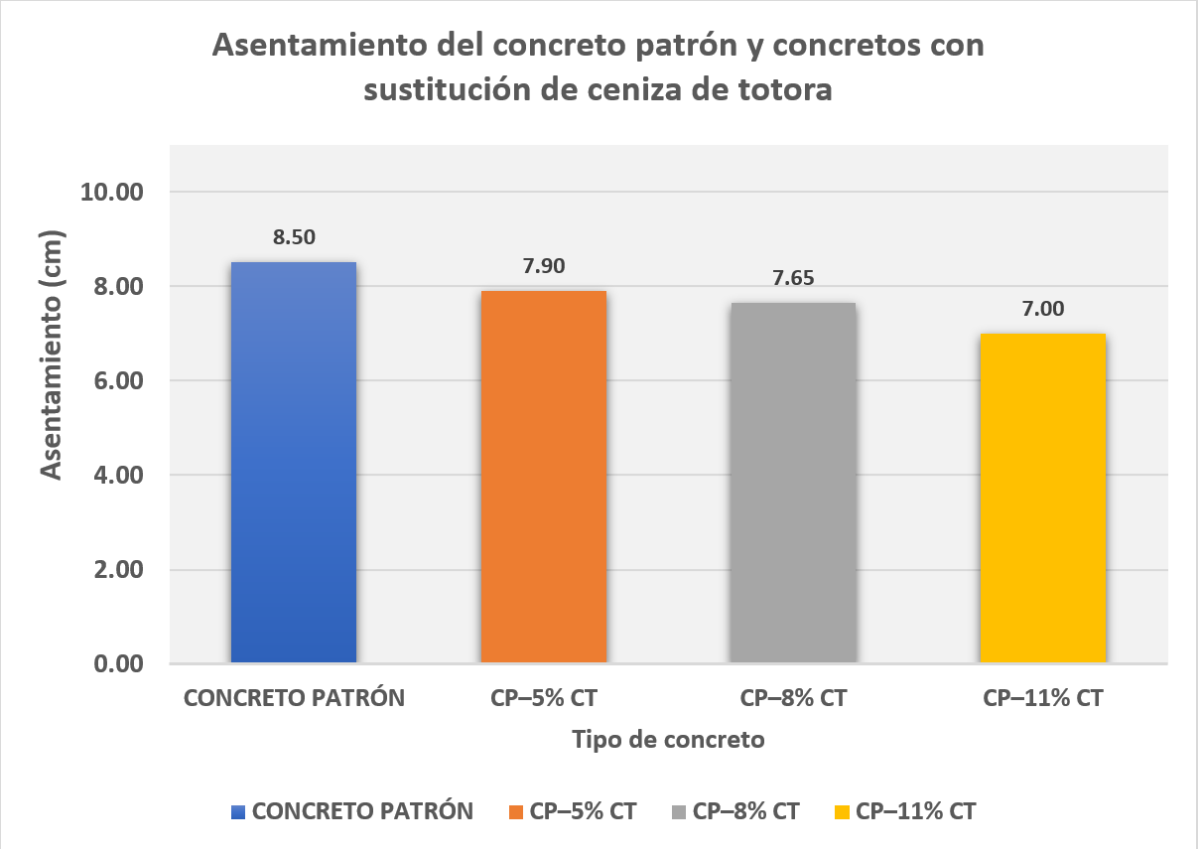
En contraste, la mezcla con 11% de ceniza de totora alcanzó una resistencia promedio de 19.10 kg/cm², evidenciando una disminución significativa de la capacidad a tracción. Este comportamiento puede interpretarse como una consecuencia del mayor reemplazo de cemento, esto significa que las tensiones de tracción no pueden transmitirse adecuadamente, ya que se reduce la cohesión interna de la matriz cementicia.

6.4. Determinación del porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de totora en el concreto estructural

El porcentaje ideal de sustitución se determinó analizando exhaustivamente los resultados de pruebas realizadas tanto en concreto fresco como, considerando como referencia el comportamiento del concreto patrón y comparándolo con las mezclas que incorporaron ceniza de totora en proporciones del 5 %, 8 % y 11 %. El criterio de evaluación se basó en el desempeño estructural, la trabajabilidad y la eficiencia del material.

Figura 27

Comparación del asentamiento del concreto fresco: mezcla control y mezclas con ceniza de totora

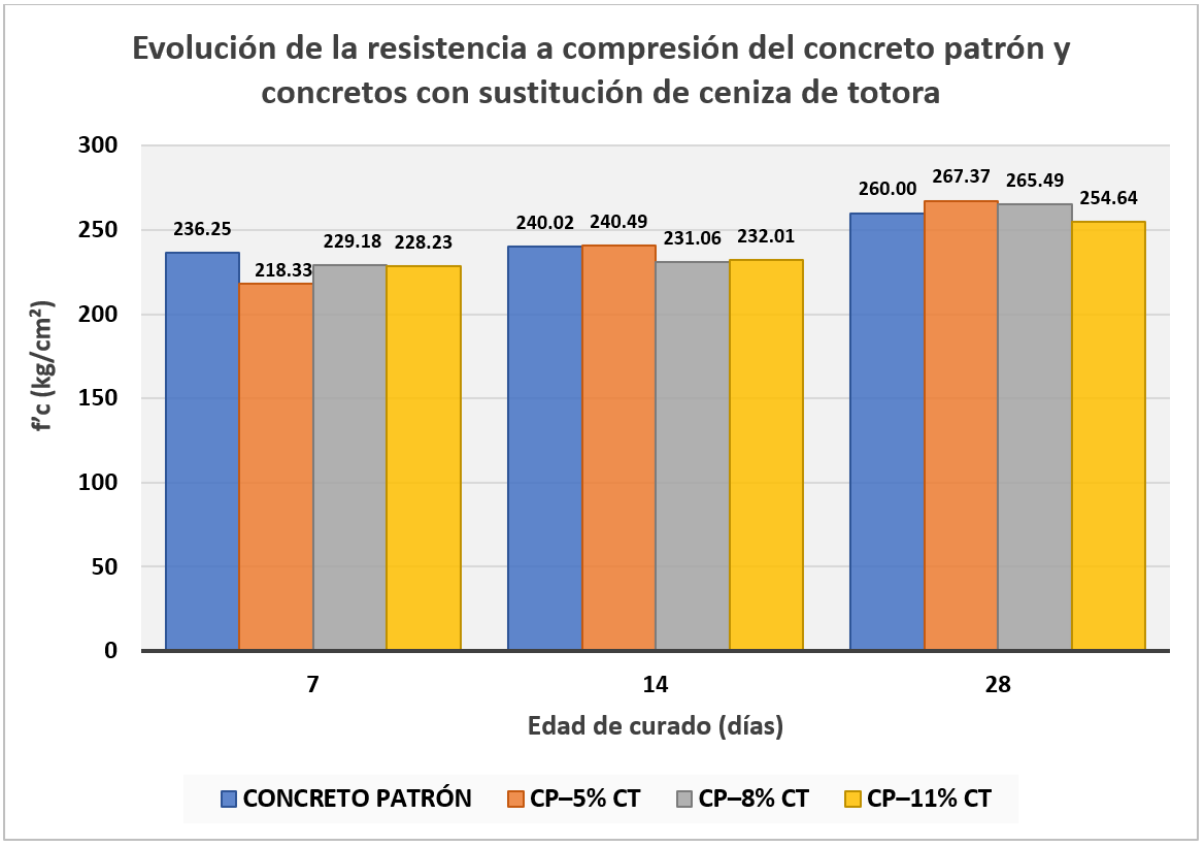


Fuente: Elaboración propia.

En estado fresco, de acuerdo a los ensayos de asentamiento evidenciaron que a mientras más ceniza se usa, la consistencia del concreto disminuye de manera progresiva. No obstante, con 5% de ceniza de totora presentó una disminución moderada del asentamiento respecto al concreto patrón, manteniéndose dentro de rangos adecuados para su colocación y compactación. En cambio, los concretos con 8 % y 11 % mostraron una mayor pérdida de trabajabilidad, lo que podría limitar su aplicación sin la incorporación de aditivos o ajustes en la dosificación.

Figura 28

Comparación de f'c vs periodo de curado (días): mezcla control y mezclas con CT–5%, CT–8% y CT–11%.

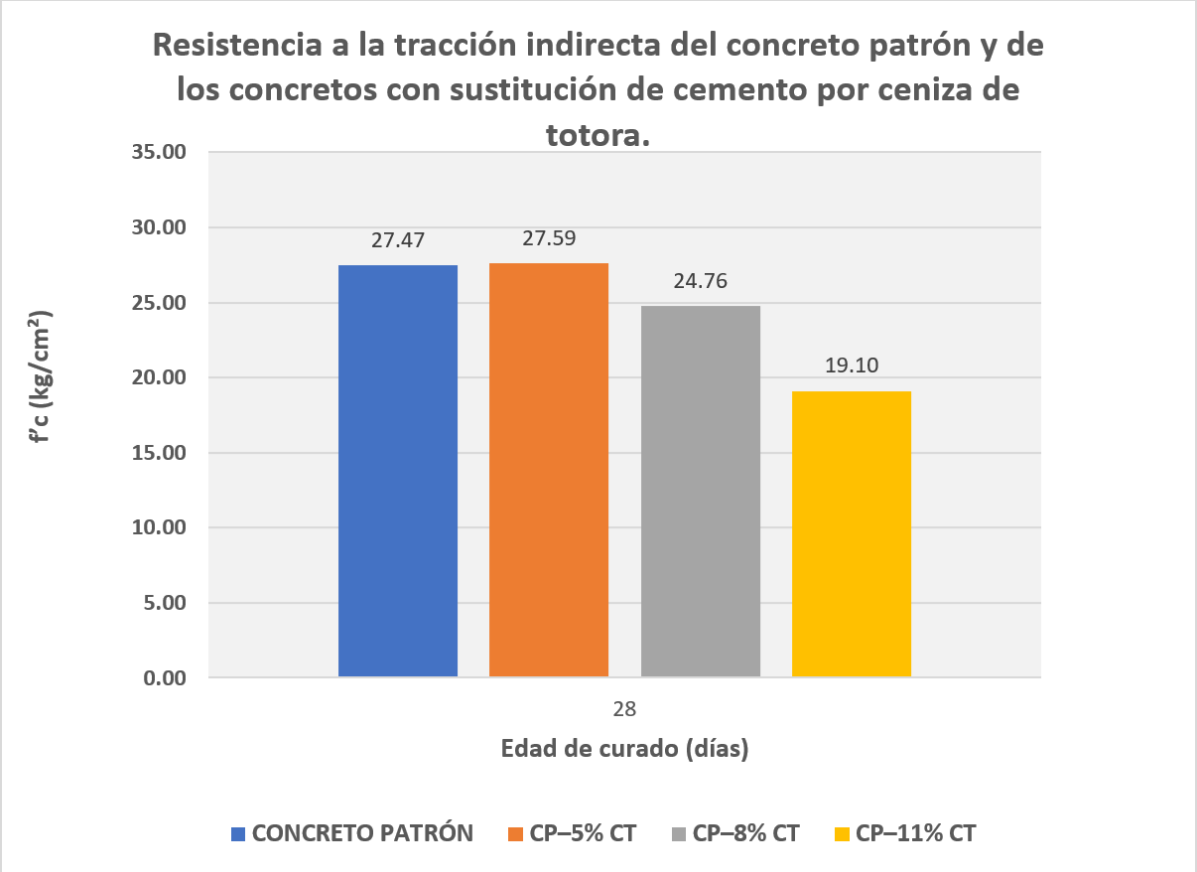


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de compresión en condición endurecida demuestran que, tras 28 días, el valor promedio era mayor para el concreto que tenía un 5 % de sustitución, superando tanto a la mezcla de control como a las mezclas comparativas de concreto evaluadas. Si bien el concreto con 8 % de ceniza de totora también presentó resistencias elevadas, su desempeño fue ligeramente inferior al obtenido con el 5 % de sustitución. Por su parte, el concreto con 11 % mostró resistencias aceptables, aunque con una tendencia a la reducción del desempeño mecánico en comparación con los porcentajes menores.

Figura 29

Comparación de la resistencia a tracción indirecta entre mezcla control y mezclas con CT–5%, CT–8% y CT–11%.



Fuente: Elaboración propia.

La revisión global de los resultados de tracción indirecta confirmó la tendencia observada: el concreto con 5% de sustitución mantuvo un desempeño similar o marginalmente mayor que el control; en cambio, con 8% y 11% presentaron disminuciones progresivas en esta propiedad, siendo más significativa en el mayor porcentaje de sustitución. Este comportamiento evidencia que porcentajes elevados de reemplazo pueden afectar negativamente al concreto en su capacidad tensional.

A partir de la evaluación integral se interpreta que el concreto con 5% ceniza de totora representa el porcentaje óptimo dentro de los rangos evaluados, al ofrecer el mejor equilibrio entre trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y eficiencia del

material. Este porcentaje permite mejorar el desempeño mecánico del concreto sin comprometer sus propiedades físicas, consolidándose como una alternativa técnicamente viable para la incorporación de ceniza de totora como material sustituyente del cemento.

6.5. Viabilidad económica

La evaluación económica de la ceniza de totora se desarrolló con el propósito de estimar su costo unitario de obtención y analizar el impacto de su uso como sustituto parcial del cemento en el costo del concreto. Para cumplir este objetivo, se consideraron los principales componentes del proceso productivo de la ceniza, los cuales incluyen: recolección, transporte de la totora, secado, calcinación, reducción de tamaño (trituración) y tamizado, etapas que condicionan el costo final del material.

En el desarrollo del proceso, la materia prima (totora) fue obtenida sin costo, debido a que se recolectó directamente y no se requirió adquisición del material. Asimismo, las etapas de secado y manejo del material se realizaron con recursos disponibles, sin generar gastos adicionales relevantes.

Un aspecto importante dentro del proceso fue la reducción de tamaño (trituración), la cual se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras, utilizando equipos disponibles, por lo que no se consideró costo por alquiler o compra de maquinaria, ni costos por servicio externo. De manera complementaria, el tamizado también se efectuó en condiciones de laboratorio, como parte del acondicionamiento de la ceniza para su incorporación en la mezcla.

En consecuencia, el gasto económico directo se concentró principalmente en la calcinación, correspondiente al consumo operativo asociado al tratamiento térmico. A partir de este escenario, se consideró un costo unitario de S/ 0,50 por cada kg de ceniza de totora (sin IGV), el cual fue empleado para estimar el efecto del reemplazo parcial del cemento sobre el costo del concreto.

Con este costo unitario se desarrolló el análisis económico del concreto patrón y de los concretos con sustitución parcial del cemento por ceniza de totora en porcentajes de 5 %, 8 % y 11 %, correspondientes a las dosificaciones: 95% cemento + 5% ceniza, 92% cemento + 8% ceniza y 89% cemento + 11% ceniza. El objetivo del análisis fue cuantificar la variación del costo por m³ y complementar la selección del porcentaje óptimo, considerando simultáneamente el desempeño mecánico obtenido en los ensayos.

Tabla 32

Análisis de costo unitario del concreto patrón por m3.

Partida			**Concreto f´c=210 kg/cm2**			
Rendimiento	**15.0000**	**m3/día**	Eq.	**100.0000**	costo unitario directo por m3	**497.52**
Descripción recurso		**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio s/**	**Parcial s/**
Mano de obra						
Operario		hh	2.0000	1.0667	26.22	27.97
Oficial		hh	2.0000	1.0667	20.60	21.97
Peón		hh	8.0000	4.2667	18.65	79.57
						129.51
Materiales						
Cemento portland tipo i		bol		8.7700	33.40	292.92
Piedra chancada 3/4"		m3		0.6700	63.00	42.21
Arena gruesa		m3		0.5200	40.00	20.80
Agua puesta en obra		m3		0.1990	5.00	1.00
						356.92
equipos						
Herramientas manuales		%mo		3.0000	129.51	3.89
Vibrador de concreto 4 hp 1.50"		hm	1.0000	0.5333	6.50	3.47
Mezcladora de concreto 11 p3 (23 hp)		hm	1.0000	0.5333	7.00	3.73
						11.09

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información de la tabla 32, se obtuvo un ACU para el concreto patrón es de S/. 497.52

Tabla 33

Análisis de costo unitario del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora por m3.

Partida	**Concreto f´c=210 kg/cm2 con 95% cemento + 5% ceniza de totora**					
Rendimiento	**15.0000**	**m3/día**	Eq.	**100.0000**	costo unitario directo por m3	**492.15**

Descripción recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio s/**	**Parcial s/**
Mano de obra					
Operario	hh	2.0000	1.0667	26.22	27.97
Oficial	hh	2.0000	1.0667	20.60	21.97
Peón	hh	8.0000	4.2667	18.65	79.57
					129.51
Materiales					
Cemento portland tipo i	bol		8.7700	33.40	292.92
Ceniza de totora	kg		18.640	0.50	9.32
Piedra chancada 3/4"	m3		0.6700	63.00	42.21
Arena gruesa	m3		0.5200	40.00	20.80
Agua puesta en obra	m3		0.1990	5.00	1.00
					351.55
equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	129.51	3.89
Vibrador de concreto 4 hp 1.50"	hm	1.0000	0.5333	6.50	3.47
Mezcladora de concreto 11 p3 (23 hp)	hm	1.0000	0.5333	7.00	3.73
					11.09

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información de la tabla 33, se obtuvo un ACU para concreto f´c=210 kg/cm2 con 95% cemento + 5% ceniza de totora es de S/. 492.15

Tabla 34

Análisis de costo unitario del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora por m3.

Partida	**Concreto f´c=210 kg/cm2 con 92% cemento + 8% ceniza de totora**					
Rendimiento	**15.0000**	**m3/día**	Eq.	**100.0000**	costo unitario directo por m3	**489.05**

Descripción recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio s/**	**Parcial s/**
Mano de obra					
Operario	hh	2.0000	1.0667	26.22	27.97
Oficial	hh	2.0000	1.0667	20.60	21.97
Peón	hh	8.0000	4.2667	18.65	79.57
					129.51
Materiales					
Cemento portland tipo i	bol		8.0700	33.40	269.54
Ceniza de totora	kg		29.820	0.50	14.91
Piedra chancada 3/4"	m3		0.6700	63.00	42.21
Arena gruesa	m3		0.5200	40.00	20.80
Agua puesta en obra	m3		0.1990	5.00	1.00
					348.45
equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	129.51	3.89
Vibrador de concreto 4 hp 1.50"	hm	1.0000	0.5333	6.50	3.47
Mezcladora de concreto 11 p3 (23 hp)	hm	1.0000	0.5333	7.00	3.73
					11.09

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información de la tabla 34, se obtuvo un ACU para concreto f´c=210 kg/cm2 con 92% cemento + 8% ceniza de totora es de S/. 489.05

Tabla 35

Análisis de costo unitario del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora por m3.

Partida	**Concreto f´c=210 kg/cm2 con 89% cemento + 11% ceniza de totora**					
Rendimiento	**15.0000**	**m3/día**	Eq.	**100.0000**	costo unitario directo por m3	**485.62**

Descripción recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio s/**	**Parcial s/**
Mano de obra					
Operario	hh	2.0000	1.0667	26.22	27.97
Oficial	hh	2.0000	1.0667	20.60	21.97
Peón	hh	8.0000	4.2667	18.65	79.57
					129.51
Materiales					
Cemento portland tipo i	bol		7.8000	33.40	260.52
Ceniza de totora	kg		41.0000	0.50	20.50
Piedra chancada 3/4"	m3		0.6700	63.00	42.21
Arena gruesa	m3		0.5200	40.00	20.80
Agua puesta en obra	m3		0.1990	5.00	1.00
					345.03
equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	129.51	3.89
Vibrador de concreto 4 hp 1.50"	hm	1.0000	0.5333	6.50	3.47
Mezcladora de concreto 11 p3 (23 hp)	hm	1.0000	0.5333	7.00	3.73
					11.09

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información de la tabla 35, se obtuvo un ACU para concreto f´c=210 kg/cm2 con 89% cemento + 11% ceniza de totora es de S/. 485.62

Tabla 36

Costo unitario y ahorro económico del concreto con sustitución parcial de cemento por ceniza de totora (1 m³)

Tipo de concreto	Unidad	Costo en S/.	Ahorro vs Patrón S/.
Concreto patrón	1m3	497.52	0.00
Cemento 95% + ceniza de totora 5%	1m3	492.15	5.37

Cemento 92% + ceniza de totora 8%	1m3	489.05	8.47
Cemento 89% + ceniza de totora 11%	1m3	485.62	11.90

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 36 presenta la comparación del costo unitario por 1 m³ de concreto para la mezcla patrón y para las mezclas con sustitución parcial del cemento por ceniza de totora. Se observa una disminución progresiva del costo conforme aumenta el porcentaje de sustitución: el concreto patrón registra S/ 497.52/m³, mientras que las mezclas con 5%, 8% y 11% alcanzan S/ 492.15, S/ 489.05 y S/ 485.62/m³, respectivamente. En términos de ahorro frente al patrón, los valores obtenidos corresponden a S/ 5.37, S/ 8.47 y S/ 11.90 por m³, lo que evidencia que la incorporación de ceniza de totora reduce el costo directo del concreto dentro del rango evaluado.

No obstante, la selección del porcentaje óptimo no debe sustentarse únicamente en el menor costo, sino en el balance entre desempeño estructural y eficiencia económica. Bajo este criterio, el reemplazo del 5% constituye la alternativa más conveniente, ya que combina una reducción de costo frente al patrón con el mejor comportamiento estructural obtenido en los ensayos, manteniendo una trabajabilidad aceptable del concreto en estado fresco. Por el contrario, aunque porcentajes mayores pueden reflejar un ahorro ligeramente superior, también pueden asociarse a una disminución de la trabajabilidad, lo que en aplicaciones reales podría implicar ajustes adicionales en obra (mayor control de colocación, compactación o incorporación de aditivos), afectando el costo final del proceso constructivo.

7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se concluye que el objetivo general de la investigación fue cumplido, ya que se logró evaluar de manera experimental la influencia de la ceniza de totora como sustituto parcial del cemento Portland en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, obteniéndose resultados que demuestran su viabilidad técnica bajo condiciones controladas.

Los objetivos específicos fueron alcanzados, debido a que se caracterizaron adecuadamente los agregados, se evaluó el desempeño del concreto con sustitución parcial del cemento por ceniza de totora en distintos porcentajes, así como el comportamiento del concreto de referencia (patrón), lo cual permitió contribuir al cumplimiento de los objetivos específicos.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la hipótesis planteada se valida parcialmente, ya que la incorporación de ceniza de totora influyo significativamente en las propiedades del concreto estructural, evidenciando que ciertos porcentajes de sustitución presentan un comportamiento más favorable que otros.

Se determino que los resultados permitieron establecer existe relación directa entre la proporción de sustitución de cemento por ceniza de totora y las propiedades del concreto estructural, siendo el nivel de reemplazo un factor determinante en la resistencia mecánica y el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.

Finalmente, el análisis económico evidencia que la sustitución parcial del cemento por ceniza de totora reduce el costo unitario del concreto respecto a la mezcla patrón. En el rango evaluado, el costo disminuye progresivamente a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo, generando ahorros por m^3 frente al patrón. No obstante, al integrar el criterio económico con el desempeño mecánico obtenido en laboratorio, el 5%

de sustitución se identifica como la alternativa más conveniente, ya que logra ahorro económico sin comprometer el comportamiento estructural, constituyéndose en el mejor equilibrio técnico–económico para la aplicación en concreto estructural.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda un reemplazo parcial del 5% del cemento por ceniza de totora en concreto estructural, dado que este nivel de remplazo presento un adecuado desempeño mecánico, sin generar variaciones relevantes en la trabajabilidad ni en la resistencia a la tracción indirecta.

Para aplicaciones prácticas que consideren porcentajes de sustitución superiores al 5%, para contrarrestar la reducción de trabajabilidad observada en el concreto fresco y asegurar una adecuada colocación y compactación del material, se sugiere evaluar la incorporación de aditivos plastificantes o superplastificantes.

Se recomienda realizar investigaciones complementarias orientadas a evaluar la durabilidad del concreto con ceniza de totora, considerando parámetros como absorción, permeabilidad, carbonatación y resistencia frente a agentes agresivos, a fin de ampliar el conocimiento sobre su comportamiento a largo plazo en diferentes condiciones ambientales.

Se recomienda para futuras investigaciones, se analice de manera detallada el efecto del porcentaje de sustitución de cemento por ceniza de totora sobre las propiedades del concreto estructural, considerando distintos niveles de remplazo y su influencia en la resistencia mecánica y el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, así como su aplicación en concretos de mayores resistencias específicas.

Finalmente se recomienda como material alternativo la utilización de la ceniza de totora como material alternativo en la elaboración de concreto, especialmente en la región de Chiclayo, Lambayeque, fomentando su aprovechamiento como recurso local. Con el fin de reducir el consumo de cemento Portland y contribuir al desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A. García Meseguer, F. M. (2009). Jiménez Montoya Hormigón armado. Barcelona: Gustavo Gili.

Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. San Marcos.

Aguirre Ronaldinno, G. K. (2023). *Influencia de las cenizas de totora y tuna en las propiedades de la subrasante del Jr. Amazonas, Huánuco 2023* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/133636

Arias, F. (2012). *Introducción a la metodología científica* (6.a ed). Episteme. Recuperado de https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf

Apaza Chayña, A. U. (2022). *Influencia de la ceniza de totora y fibra de stipa ichu en las propiedades físicas - mecánicas del concreto f'c=210 kg/cm², Puno - 2022* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/103138

Cemento Pacasmayo. (st). From https://www.cementospacasmayo.com.pe/operaciones/plantas-de-concreto

Chambi Condori, F. G. (2022). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto sustituyendo con ceniza de totora en la provincia de Azángaro* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90077

Correa Yheral, M. J. (2023). *Influencia de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades mecánicas del concreto F'c 280 kg/cm2, Lambayeque* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. From

https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/129105

Eliu, R. (2024*). Mejoramiento del diseño de concreto no estructural con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2023* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13227

González Ramón, E. M. (2020). *Revalorización de la totora como material de construcción* [Trabajo de fin de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. From https://upcommons.upc.edu/handle/2117/179406

Graves, C. (2000). *La papa, tesoro de los Andes, de la agricultura a la cultura*. Lima: Centro Internacional de la papa.

Guzman, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Huaylla Quispe, E. O. (2022). *Adición de ceniza de totora para mejorar las propiedades del concreto f'c=210kg/cm2 del pavimento rígido de la avenida Tacna, Puno 2022* [Tesis de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101932

Indo, F. I. (2024). *Desarrollo de una metodología para calcular las emisiones de CO2 del hormigón para empresa de hormigón premezclado* [Tesis de título profesional, Universidad de Chile]. Repositorio institucional, Chile. From https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/199741

INEI. (2024, junio 01). *Consumo interno de cemento se incrementó 7,46%.* From Instituto Nacional de Estadisticas e informatica: https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-084-2024-inei.pdf

Instituto Nacional de Calidad. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.* Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacios de los agregados*. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 400.021: *Agregados. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo*. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Método de ensayo. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado*. Método de ensayo. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 400.012: Agregados. Determinación del análisis granulométrico (por tamizado).* Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico.* Método de ensayo. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2022). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2024). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo*. LIMA.

Kajaste, R., & Hurme, M. (2016). *Cement industry greenhouse gas emissions – management. Journal of Cleaner Production*, 4041-4052.

Kerly Aquino, E. L. (n.d.). *Influencia de las cenizas de totora reciclada y cal en las propiedades físicas y mecánicas del concreto en zonas andinas, Junín, 2023* [Tesis de título profesional, Universidad Continental]. Repositorio Institucional.

Kosmatka, S. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.

Kumar Mehta, P. M. (2014). *Concreto estructura, propiedades y materiales*. Imcyc.

Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para Ingenieria Civil*. España: Prentice Hall.

Matallana, R. (2019). *El Concreto Fundamentos Y Nuevas Tecnologías*. Medellín: International Standard Book Number.

Md., S. (2008). *Desarrollo de hormigón autocompactante de alto rendimiento que incorpora ceniza de cascarilla de arroz* [Tesis de Doctorado, University of Waterloo]. Repositorio Institucional. From https://uwspace.uwaterloo.ca/items/48946c6c-e2ea-491e-9feb-9668166e740f

MINAM. (2019, Septiembre 05). *Ministerio del Ambiente prepublica los Límites Máximos Permisibles para la industria del cemento y cal.* From Ministerio del Ambiente en Perú: https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ministerio-ambiente-prepublica-limites-maximos-permisibles-industria

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2019). *Norma e.o60 concreto armado*. Lima.

Neville, A. (2012). *Tecnología del concreto*. Imcyc.

Pasquel, E. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Colección del Ingeniero civil.

Rasoul, B. (2018). *Efecto de las cenizas de cáscara de arroz sobre las propiedades mecánicas y durabilidad del hormigón* [Tesis de doctorado, University of Brighton]. Repositorio Institucional. From https://cris.brighton.ac.uk/ws/portalfiles/portal/5927918/PhD_Thesis.docx_re_sized_to_print.pdf

Rivera, G. (2002). *Concreto simple*. Cauca: Universidad del Cauca.

Rivva, E. (2004). *Naturaleza y materiales de concreto*. Instituto de Construcción y Gerencia.

Romero, M. Á., León, C. R., Hoces, W. B., Carrasco, R. M., Carranza, C. P., & Acobo, R. Y. (2023). *Metodología de la investigación.* Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Rosa, R. (2024). *Estabilización de suelos incorporando cenizas de cascarilla de arroz, Lambayeque 2020* [Tesis de título profesional, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional. From https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13728

9. ANEXOS

9.1. ANEXO A: Registros de laboratorio de ensayos de materiales

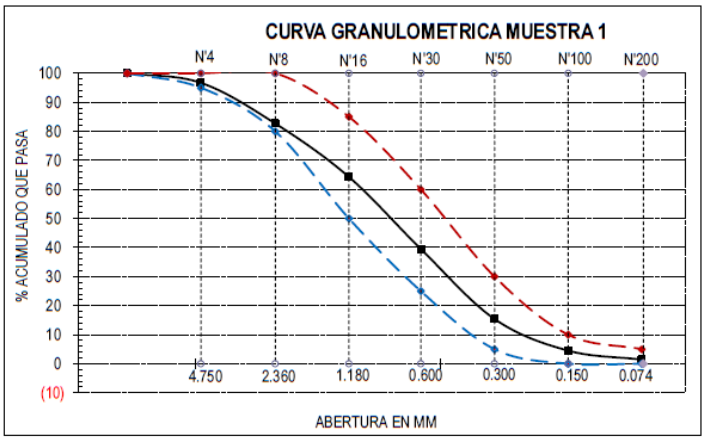
a. Resultados de los ensayos de las Propiedades Físicas de los Agregados

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO MUESTRA 1

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA:**	LA VICTORIA-PATAPO

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO							
Peso seco inicial de la muestra			1000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	% Retenido	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido		Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 04	4.75	33.00	3.30	3.30	96.70	95.00	100.00
N° 08	2.36	140.00	14.00	17.30	82.70	80.00	100.00
N° 16	1.18	184.00	18.40	35.70	64.30	50.00	85.00
N° 30	0.60	248.00	24.80	60.50	39.50	25.00	60.00
N° 50	0.30	241.00	24.10	84.60	15.40	5.00	30.00
N° 100	0.15	109.00	10.90	95.50	4.50	0.00	10.00
N° 200	0.075	31.00	3.10	98.60	1.40	0.00	5.00
Platillo		14.00	1.40	100.00	0.00		
Peso total(gr.)		1000.00					
Abertura de malla de referencia			**9.50**	**Módulo de Fineza**			**2.97**



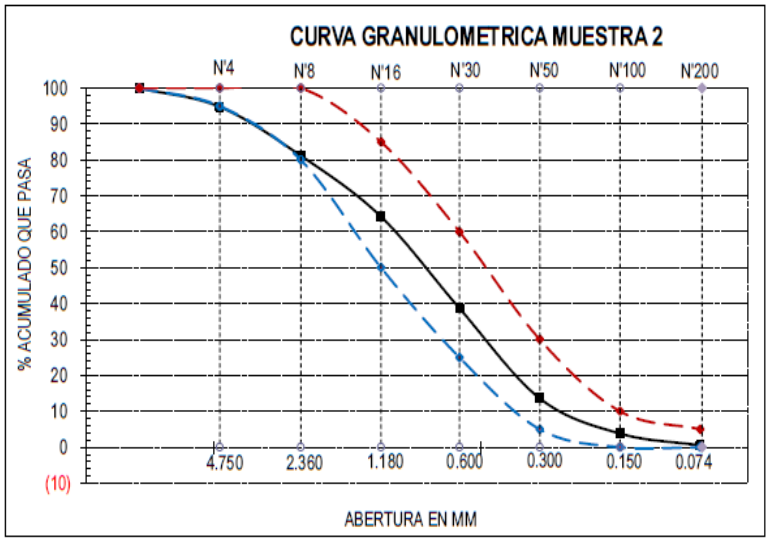
Observaciones:
.- Normativa
NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado fino.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO MUESTRA 2

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA:**	LA VICTORIA-PATAPO

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

Peso seco inicial de la muestra		1000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	% Retenido	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido		Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 04	4.75	52.00	5.20	5.20	94.80	95.00	100.00
N° 08	2.36	136.00	13.60	18.80	81.20	80.00	100.00
N° 16	1.18	170.00	17.00	35.80	64.20	50.00	85.00
N° 30	0.60	255.00	25.50	61.30	38.70	25.00	60.00
N° 50	0.30	251.00	25.10	86.40	13.60	5.00	30.00
N° 100	0.15	98.00	9.80	96.20	3.80	0.00	10.00
N° 200	0.075	33.00	3.30	99.50	0.50	0.00	5.00
Platillo		5.00	0.50	100.00	0.00		
Peso total(gr.)		1000.00		**Módulo de Fineza**			**3.04**
Abertura de malla de referencia		**9.50**					



Observaciones:

.- Normativa

NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado fino.

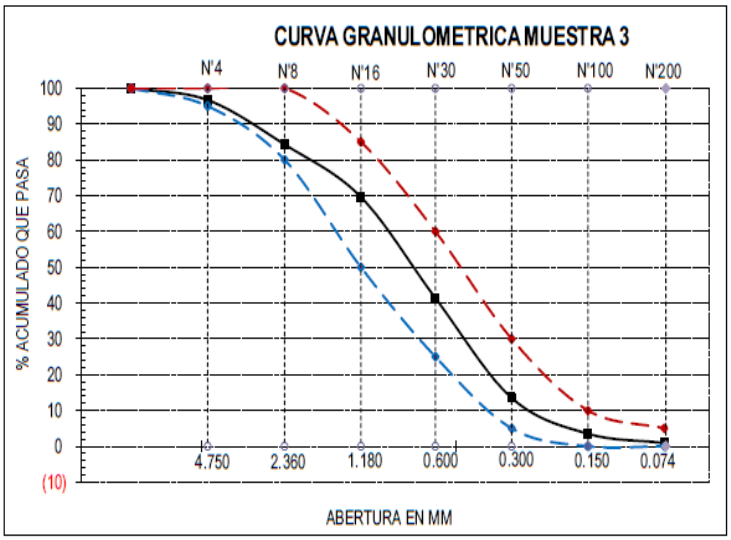
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO MUESTRA 3

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA:**	LA VICTORIA-PATAPO

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

Peso seco inicial de la muestra			1000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	% Retenido	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido		Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 04	4.75	33.00	3.30	3.30	96.70	95.00	100.00
N° 08	2.36	124.00	12.40	15.70	84.30	80.00	100.00
N° 16	1.18	147.00	14.70	30.40	69.60	50.00	85.00
N° 30	0.60	282.00	28.20	58.60	41.40	25.00	60.00
N° 50	0.30	279.00	27.90	86.50	13.50	5.00	30.00
N° 100	0.15	100.00	10.00	96.50	3.50	0.00	10.00
N° 200	0.075	26.00	2.60	99.10	0.90	0.00	5.00
Platillo		9.00	0.90	100.00	0.00		
Peso total(gr.)		1000.00		**Módulo de Fineza**			**2.91**
Abertura de malla de referencia			**9.50**				



Observaciones:
.- Normativa
NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado fino.

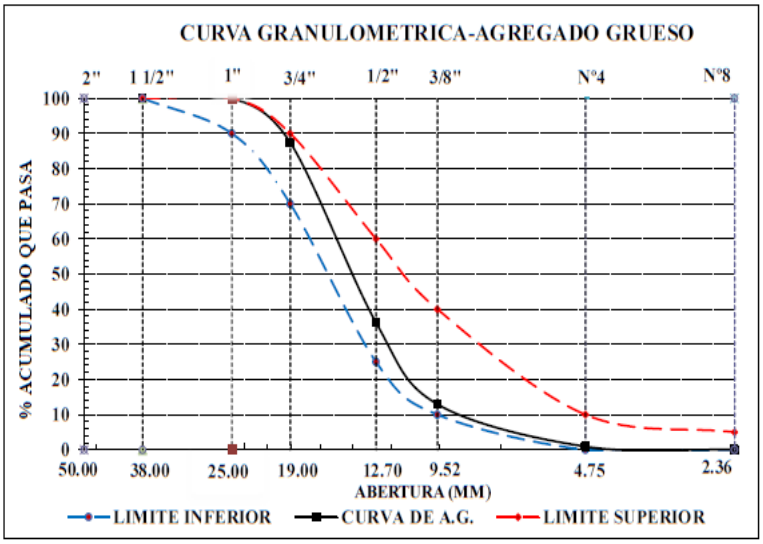
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO
MUESTRA 1

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
SOLICITANTE:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	TRES TOMAS-FERREÑAFE

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

Peso seco inicial de la muestra			5000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	%	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido	Retenido	Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	95.0	100.0
3/4"	19.00	630.0	12.6	12.6	87.4	-	-
1/2"	12.70	2562.0	51.2	63.8	36.2	25.0	60.0
3/8"	9.52	1160.0	23.2	87.0	13.0	-	-
N° 04	4.75	602.0	12.0	99.1	0.9	0.0	10.0
N° 08	2.36	46.0	0.9	100.0	0.0	0.0	5.0
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0	-	-
Peso total(gr.)		5000.00					
Tamaño Maximo			**1"**	**Tamaño Maximo Nominal**			**3/4"**



.- Normativa

NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado grueso

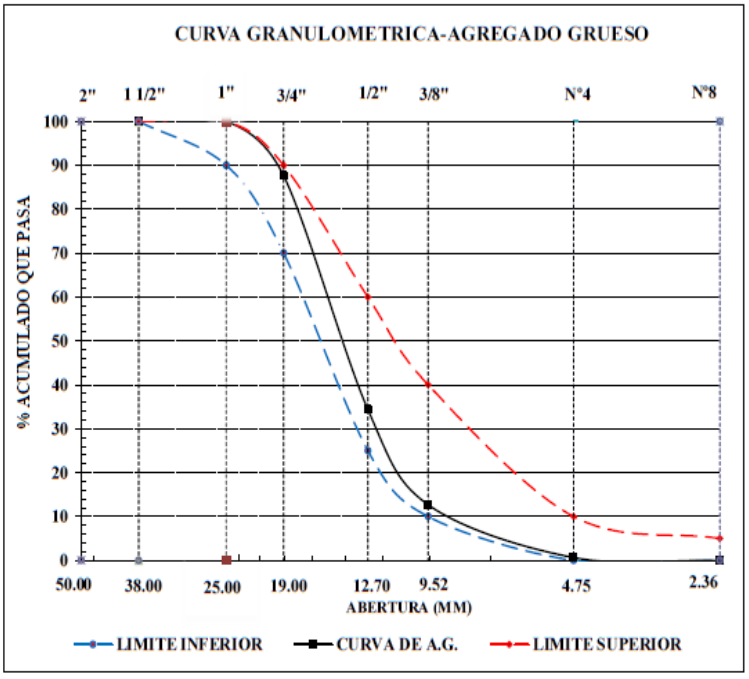
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO
MUESTRA 2

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
SOLICITANTE:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	TRES TOMAS-FERREÑAFE

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

Peso seco inicial de la muestra			5000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	%	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido	Retenido	Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	95.0	100.0
3/4"	19.00	619.0	12.4	12.4	87.6	-	-
1/2"	12.70	2663.0	53.3	65.6	34.4	25.0	60.0
3/8"	9.52	1084.0	21.7	87.3	12.7	-	-
N° 04	4.75	601.0	12.0	99.3	0.7	0.0	10.0
N° 08	2.36	33.0	0.7	100.0	0.0	0.0	5.0
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0	-	-
Peso total(gr.)		5000.00					
Tamaño Maximo			**1"**	**Tamaño Maximo Nominal**			**3/4"**



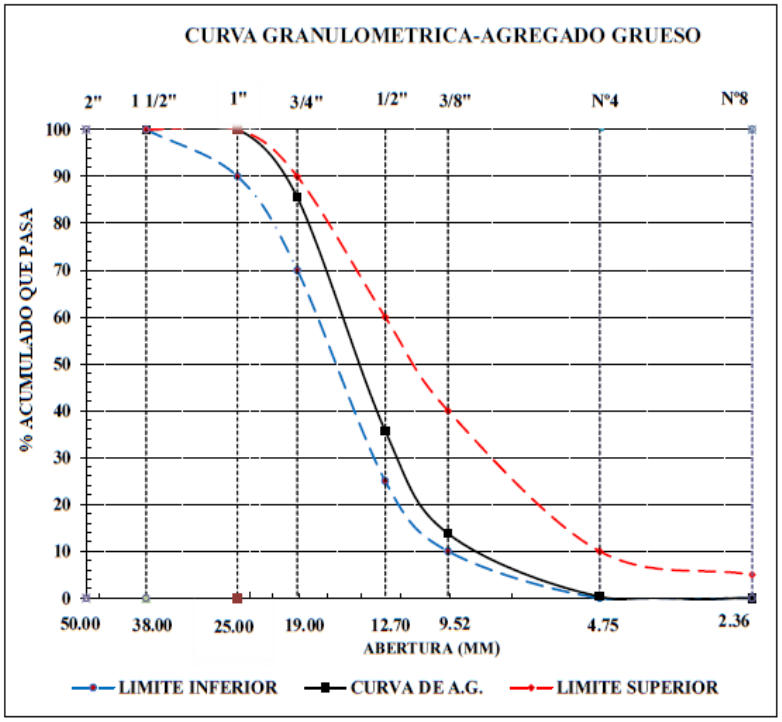
.- Normativa

NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO MUESTRA 3			
PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
SOLICITANTE:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	TRES TOMAS-FERREÑAFE

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO							
Peso seco inicial de la muestra			5000.00	gr.	Norma:	N.T.P.400.037	
Tamiz		Peso	%	% Acumul.	% Acumul.	Especificaciones	
pulg.	mm.	Retenido	Retenido	Retenido	Que Pasa	Minimo	Maximo
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	95.0	100.0
3/4"	19.00	725.0	14.5	14.5	85.5	-	-
1/2"	12.70	2489.0	49.8	64.3	35.7	25.0	60.0
3/8"	9.52	1098.0	22.0	86.2	13.8	-	-
N° 04	4.75	672.0	13.4	99.7	0.3	0.0	10.0
N° 08	2.36	16.0	0.3	100.0	0.0	0.0	5.0
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0	-	-
Peso total(gr.)		5000.00					
Tamaño Maximo			**1"**	**Tamaño Maximo Nominal**			**3/4"**



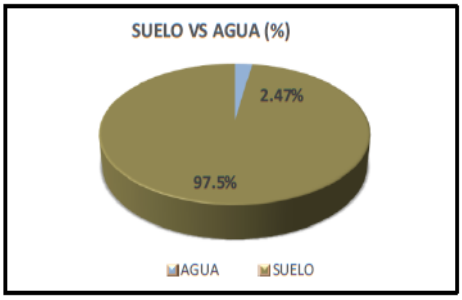
Normativa

NTP 400.012. Agregados. Analisis granulometrico del agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO			
PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
SOLICITANTE:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	PATATO / TRES TOMAS

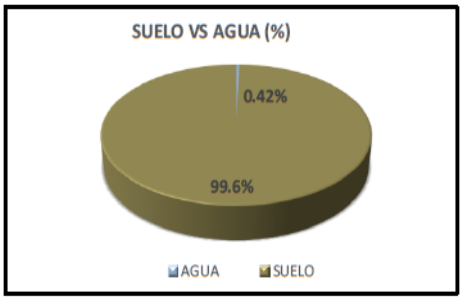
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

DATOS DE ENSAYO		
MATERIALES	Und	VALOR
P. FRASCO + SUELO HUMEI	gr.	6546
FRASCO + SUELO SECO	gr.	6401
PESO DEL AGUA	gr.	145
PESO DEL FRASCO	gr.	538
PESO DEL SUELO SECO	gr.	5863
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	2.47%



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

DATOS DE ENSAYO		
MATERIALES	Und	VALOR
FRASCO + SUELO HUMEDO	gr.	10263
FRASCO + SUELO SECO	gr.	10222
PESO DEL AGUA	gr.	41
PESO DEL FRASCO	gr.	438
PESO DEL SUELO SECO	gr.	9784
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	0.42%



.- Normativa

NTP 339.185. Agregados.Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados finos por secado

NTP 339.185. Agregados.Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados gruesos por secado

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	LA VICTORIA-PATAPO

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE MASA		
MATERIALES		
Peso del Matraz	gr.	222
Peso de la muestra +P. del matraz + agua	gr.	1019
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	500
Va:Peso o Volumen del Agua añadida	cm3	297
Wo:Peso de la muestra seca al horno	gr.	495
V:Peso o Vol. Del frasco volumetrico	cm3	500
CALCULOS		
Peso especifico de masa del agregado fino =(Wo / V - Va)*100	g/cm3	2.44
Absorción del agregado fino=(500-Wo/Wo) *100	%	1.01
RESULTADOS		
PESO ESPECIFICO DE MASA DEL AGREGADO FINO	**g/cm3**	**2.44**
GRADO DE ABSORCION DEL AGREGADO FINO	**%**	**1.01**

.- Normativa

NTP 400.021. Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA**	TRES TOMAS-FERREÑAFE

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE MASA		
DATOS		
A =Peso de la muestra seca al horno =	gr.	5000
B=Peso de la muestra saturada con superficie seca	gr.	5044
C =Peso de la muestra sumergida	gr.	3150
CALCULOS		
Peso especifico de masa =(A/ B - C)*100	g/cm3	2.64
Absorción del agregado grueso=(B-A/A) *100	%	0.88
RESULTADOS		
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	**g/cm3**	**2.64**
GRADO DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO	**%**	**0.88**

.- Normativa

NTP 400.021. Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
SOLICITANTE:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
ESTRUCTURA:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA:**	LA VICTORIA-PATAPO

PESO UNITARIO SECO SUELTO					
DATOS	Und	1	2	3	MEDIA
Peso de la muestra + molde	g	12016	12013	12021	12017
Peso del molde	g	8908	8908	8908	8908
Peso de la muestra	g	3108	3105	3113	3109
Volumen del molde	cm^3	2138	2138	2138	2138
Peso Volumétrico seco suelto	kg/m^3	1454	1452	1456	1454

PESO UNITARIO COMPACTADO					
DATOS	Und	1	2	3	MEDIA
Peso de la muestra + molde	g	12420	12440	12400	12420
Peso del molde	g	8908	8908	8908	8908
Peso de la muestra	g	3512	3532	3492	3512
Volumen del molde	cm^3	2138	2138	2138	2138
Peso Volumétrico compactado	kg/m^3	1643	1652	1633	1643

RESULTADOS		
PESO UNITARIO SUELTO SECO	**Kg/m3**	**1454**
PESO UNITARIO COMPACTADO	**Kg/m3**	**1643**

.- Normativa

NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo normalizado para peso unitario suelto y compactado del agregado fino. fino

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO			
PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD		
	SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA ENSAYO:	NOVIEMBRE,2025	**PROCEDENCIA:**	LA VICTORIA-PATAPO

PESO UNITARIO SECO SUELTO					
DATOS	Und	Valor	2	3	PROM.
Peso de la muestra + molde	gr.	29589	29562	29612	29588
Peso del molde	gr.	9720	9720	9720	9720
Peso de la muestra	gr.	19869	19842	19892	19868
Volumen del molde	cm^3	14100	14100	14100	14100
Peso unitario seco suelto	kg/m^3	1409	1407	1411	1409

PESO UNITARIO COMPACTADO					
DATOS	Und	Valor	2	3	PROM.
Peso de la muestra + molde	gr.	31610	31622	31591	31608
Peso del molde	gr.	9720	9720	9720	9720
Peso de la muestra	gr.	21890	21902	21871	21888
Volumen del molde	cm^3	14100	14100	14100	14100
Peso unitario compactado	kg/m^3	1552	1553	1551	1552

RESULTADOS		
PESO UNITARIO SUELTO SECO	**Kg/m3**	**1409**
PESO UNITARIO COMPACTADO	**Kg/m3**	**1552**

.- Normativa
NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo normalizado para peso unitario suelto y compactado del agregado grueso. fino

b. Diseño de mezcla teórico

Diseño teórico de la mezcla – Mezcla 1 (a/c = 0.51)

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA:	NOVIEMBRE,2025	**f'c DISEÑO (kg/cm2):**	**210**

DATOS		**MATERIALES**			
f'c DISEÑO (Kg/cm2)	*210*	***CEMENTO***	*I*		
		AGUA	*POTABLE (RED PÚBLICA)*		
ESTRUCTURA	*VARIOS*	***ADITIVOS***	---		
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	*PLASTICA (SP. 3"- 4")*	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
		P. ESPECIFICO DE MASA	*gr/cm3*	*2.44*	*2.64*
AIRE INCORPORADO	*NO*	*% DE ABSORCIÓN*	*%*	*1.01*	*0.88*
		CONTENIDO DE HUMEDAD	*%*	*2.47*	*0.42*
EXPOSICION A INTERPERIE	*NO PRECISA*	*MODULO DE FINEZA*	-	*2.97*	---
		TAMAÑO MÁX. NOMINAL	"	---	*3/4"*
OBSERVACIONES	*NINGUNA*	*P. UNIT. COMPACTADO*	*kg/m3*	*1643*	*1552*
		P. UNIT. SUELTO	*kg/m3*	*1454*	*1409*

PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)

RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	294	kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑ	A/C	=	0.51	
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m3
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.5	bol/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	936.30	kg/m3

DISEÑO

1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

CEMENTO	=	0.129	m3
AGUA	=	0.205	m3
AIRE	=	0.020	m3
A. GRUESO	=	0.355	m3
TOTAL	=	0.709	m3

2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO

VOLUMEN ABSOLUTO:	0.291	m3
PESO SECO:	710.79	kg/m3

3. VALORES DE DISEÑO

CEMENTO :	401.96	kg/m3
AGUA DE DISEÑO :	205.00	lt
A. FINO SECO :	710.79	kg/m3
A. GRUESO SECO :	936.30	kg/m3

4. CORRECION POR HUMEDAD

PESOS HUMEDOS		
A. FINO HUMEDO	728.37	kg/m3
A. GRUESO HUMEDO	940.23	kg/m3
HUMEDAD SUPERFICIAL		
A. FINO	1.46	%
A. GRUESO	-0.46	%
APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
A. FINO	10.40	lt/m3
A. GRUESO	-4.32	lt/m3
AGUA EFECTIVA	198.92	lt

5. PESOS CORREGIDOS

CEMENTO	**401.96**	**kg/m3**
AGUA EFECTIVA	**198.92**	**lt**
A. FINO HUMEDO	**728.37**	**kg/m3**
A. GRUESO HUMEDO	**940.23**	**kg/m3**

RESULTADOS

	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA	
PROPORCION EN PESO	1.00	1.81	2.34	21.0	lt/bol
PROPORCION EN VOLUMEN	1.00	1.87	2.49	21.0	lt/bol

Diseño teórico de la mezcla – Mezcla 2 (a/c = 0.56)

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA:	NOVIEMBRE,2025	**f'c DISEÑO (kg/cm2):**	**210**

DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm2)	*210*	***CEMENTO***	*1*		
		AGUA	*POTABLE (RED PÚBLICA)*		
ESTRUCTURA	*VARIOS*	***ADITIVOS***	---		
		ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	*PLASTICA (SP. 3"- 4")*	*P. ESPECIFICO DE MASA*	*gr/cm3*	*2.44*	*2.64*
AIRE INCORPORADO	*NO*	*% DE ABSORCIÓN*	*%*	*1.01*	*0.88*
		CONTENIDO DE HUMEDAD	*%*	*2.47*	*0.42*
EXPOSICION A INTERPERIE	*NO PRECISA*	*MODULO DE FINEZA*	*-*	*2.97*	*---*
		TAMAÑO MÁX. NOMINAL	*"*	*---*	*3/4"*
OBSERVACIONES	*NINGUNA*	*P. UNIT. COMPACTADO*	*kg/m3*	*1643*	*1552*
		P. UNIT. SUELTO	*kg/m3*	*1454*	*1409*

PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)

RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	294	kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑ	A/C	=	0.56	
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m3
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%
FACTOR CEMENTO	F.C	=	8.6	bol/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	936.30	kg/m3

DISEÑO

1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

CEMENTO	=	0.117	m3
AGUA	=	0.205	m3
AIRE	=	0.020	m3
A. GRUESO	=	0.355	m3
TOTAL	=	0.697	m3

2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO

VOLUMEN ABSOLUTO:	0.303	m3
PESO SECO:	738.84	kg/m3

3. VALORES DE DISEÑO

CEMENTO :	366.07	kg/m3
AGUA DE DISEÑO :	205.00	lt
A. FINO SECO :	738.84	kg/m3
A. GRUESO SECO :	936.30	kg/m3

4. CORRECION POR HUMEDAD

PESOS HUMEDOS		
A. FINO HUMEDO	757.11	kg/m3
A. GRUESO HUMEDO	940.23	kg/m3
HUMEDAD SUPERFICIAL		
A. FINO	1.46	%
A. GRUESO	-0.46	%
APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
A. FINO	10.81	lt/m3
A. GRUESO	-4.32	lt/m3
AGUA EFECTIVA	198.51	lt

5. PESOS CORREGIDOS

CEMENTO	**366.07**	**kg/m3**
AGUA EFECTIVA	**198.51**	**lt**
A. FINO HUMEDO	**757.11**	**kg/m3**
A. GRUESO HUMEDO	**940.23**	**kg/m3**

RESULTADOS

	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA	
PROPORCION EN PESO	**1.00**	**2.07**	**2.57**	**23.0**	lt/bol
PROPORCION EN VOLUMEN	**1.00**	**2.14**	**2.74**	**23.0**	lt/bol

Diseño teórico de la mezcla – Mezcla 3 (a/c = 0.61)

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI

PROYECTO:	"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO – LAMBAYEQUE, 2025"		
UBICACIÓN:	PROVINCIA: CHICLAYO - DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE		
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.		
TESISTAS:	QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL		
LABORATORIO:	DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS -FICSA-UNPRG-LAMBAYEQUE		
FECHA:	NOVIEMBRE,2025	**f'c DISEÑO (kg/cm2):**	**210**

DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm2)	*210*	***CEMENTO***	*1*		
		AGUA	*POTABLE (RED PÚBLICA)*		
ESTRUCTURA	*VARIOS*	***ADITIVOS***	---		
		ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	*PLASTICA (SP. 3"- 4")*	*P. ESPECIFICO DE MASA*	*gr/cm3*	*2.44*	*2.64*
		% DE ABSORCIÓN	*%*	*1.01*	*0.88*
AIRE INCORPORADO	*NO*	*CONTENIDO DE HUMEDAD*	*%*	*2.47*	*0.42*
		MODULO DE FINEZA	*-*	*2.97*	*---*
EXPOSICION A INTERPERIE	*NO PRECISA*	*TAMAÑO MÁX. NOMINAL*	*"*	*---*	*3/4"*
		P. UNIT. COMPACTADO	*kg/m3*	*1643*	*1552*
OBSERVACIONES	*NINGUNA*	*P. UNIT. SUELTO*	*kg/m3*	*1454*	*1409*

PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)

RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	294	kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑ	A/C	=	0.61	
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m3
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%
FACTOR CEMENTO	F.C	=	7.9	bol/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	936.30	kg/m3

DISEÑO

1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

CEMENTO	=	0.108	m3
AGUA	=	0.205	m3
AIRE	=	0.020	m3
A. GRUESO	=	0.355	m3
TOTAL	=	0.687	m3

2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO

VOLUMEN ABSOLUTO:	0.313	m3
PESO SECO:	762.29	kg/m3

3. VALORES DE DISEÑO

CEMENTO :	336.07	kg/m3
AGUA DE DISEÑO :	205.00	lt
A. FINO SECO :	762.29	kg/m3
A. GRUESO SECO :	936.30	kg/m3

4. CORRECION POR HUMEDAD

PESOS HUMEDOS		
A. FINO HUMEDO	781.14	kg/m3
A. GRUESO HUMEDO	940.23	kg/m3
HUMEDAD SUPERFICIAL		
A. FINO	1.46	%
A. GRUESO	-0.46	%
APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
A. FINO	11.15	lt/m3
A. GRUESO	-4.32	lt/m3
AGUA EFECTIVA	198.16	lt

5. PESOS CORREGIDOS

CEMENTO	**336.07**	**kg/m3**
AGUA EFECTIVA	**198.16**	**lt**
A. FINO HUMEDO	**781.14**	**kg/m3**
A. GRUESO HUMEDO	**940.23**	**kg/m3**

RESULTADOS

	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA	
PROPORCION EN PESO	**1.00**	**2.32**	**2.80**	**25.1**	lt/bol
PROPORCION EN VOLUMEN	**1.00**	**2.40**	**2.98**	**25.1**	lt/bol

Obtención de la relación agua-cemento optima

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI

PROYECTO:	"Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025"
UBICACIÓN:	Provincia: Chiclayo - Departamento: Lambayeque
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.
TESISTAS:	Quispe Huaman Ronal Richard
	Santillan Montalvo Erick Manuel
FECHA:	Noviembre, 2025

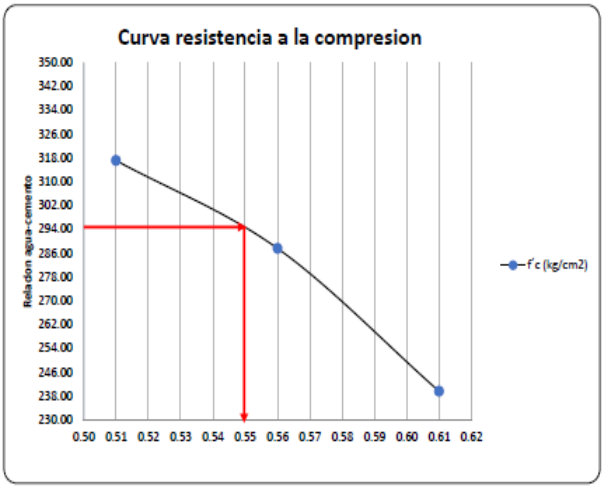
Se ha efectuado el ensayo de compresión a los testigos de la tabla adjunta

A/C	TESTIGO	Resistencia promedio(kg/cm2)	Edad	Carga	Diametro	Sección	Resistencia	Factor de conversión	Resistencia a 28 dias (kg/cm2)	Resistencia del ensayo (kg/cm2)
0.51	Testigo 1	294	7	38120	15	176.72	215.71	0.68	317.22	317.14
	Testigo 2	294	7	38100	15	176.72	215.60	0.68	317.05	
0.56	Testigo 3	294	7	36490	15	176.72	206.48	0.68	303.65	287.59
	Testigo 4	294	7	32630	15	176.72	184.64	0.68	271.53	
0.61	Testigo 5	294	7	29060	15	176.72	164.44	0.68	241.82	239.58
	Testigo 6	294	7	28520	15	176.72	161.39	0.68	237.33	

Hallar la relación A/C por resistencia

CURVA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y SLUMP PARA TRES RELACIONES A/C

a/c	f'c (kg/cm2)
0.51	317.14
0.56	287.59
0.61	239.58



A/C por resistencia = 0.55

c. Diseño de mezcla patrón

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LEME – FICSA - UNPRG

DISEÑO DE MEZCLAS OPTIMO CON A/C =0.55

DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI

PROYECTO:	"Ceniza de totora, como sustituyente del cemento para concreto estructural en Chiclayo – Lambayeque, 2025"
UBICACIÓN:	Provincia: Chiclayo - Departamento: Lambayeque
ASESOR:	Dr. Ing. Carlos Ernesto Mondragón Castañeda.
TESISTAS:	Quispe Huaman Ronal Richard
	Santillan Montalvo Erick Manuel
FECHA:	Noviembre, 2025

A. REQUERIMIENTOS :

Resistencia especificada :	210	kg/cm2.
Uso :	ESTRUCTURAS	
Cemento Portland Tipo :	I	Pacasmayo
Coeficiente de variación estimado :		
Agregados :		
Piedra, cantera :	CANTERA TRES TOMAS	
Arena, cantera :	LA VICTORIA - PATAPO	

Características :	ARENA		PIEDRA	
Humedad natural	2.47	%	0.42	%
Absorción	1.01	%	0.88	%
Peso específico de masa	2.44		2.64	
Peso unitario varillado	1.643	gr/cm3	1.552	gr/cm3
Peso unitario suelto seco	1.454	gr/cm3	1.409	gr/cm3
Módulo de fineza	2.97			
Tamaño maximo nominal del agregado	3/4"			

B. DOSIFICACION

1. Selección de la relación agua - cemento (A/C)
   Para lograr una resist. promedio de : 210 + 84 = 294 kg / cm2.
   se requiere una relación A/C por resistencia : 0.558
   Por condiciones de exposición ,
   se requiere una A/C =
   Luego la relación agua-cemento de diseño es : 0.55
2. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire
   Para un asentamiento de = 3" a 4" 205 litros/m3 Aire : 2.0 %
3. Contenido de cemento
   205 / 0.55 = 373 kg. ; aprox. 8.8 bolsas/m3
4. Estimacion del contenido de agregado grueso
   0.603 m3 x 1552 kg/m3 = 935.86 kg
5. Estimación del contenido de agregado fino

Volumen de agua				=	0.205 m3
Volumen sólido de cemento :	372.73	/	3110	=	0.120 m3
Volumen sólido de agreg. grueso :	935.86	/	2640	=	0.354 m3
Volumen de aire				=	0.02 m3
					0.699 m3
Volumen sólido de arena requerido:	1	-	0.699	=	0.301 m3
Peso de arena seca requerida :	0.301	x	2440	=	733.61 kg

6. Resumen de materiales por metro cúbico

Agua (Neta de mezclado)	=	205 litros
Cemento	=	372.73 kg
Agregado fino	=	733.61 kg
Agregado grueso	=	935.86 kg

7. Ajuste por humedad del agregado

Por humedad total (pesos ajustados)

Agregado fino :	733.61	(	1 +	2.47 /	100)	=	751.73	kg
Agregado grueso :	935.86	(	1 +	0.42 /	100)	=	939.79	kg

Agua para ser añadida por corrección por absorción

Agregado fino	733.61	(	2.47	-	1.01)	/ 100 =	10.71	kg
Agregado grueso	935.86	(	0.42	-	0.88)	/ 100 =	-4.30	kg
							6.41	kg

205 - (6.41) = 198.59 kg

Agua efectiva = agua diseño - agua libre

8. Resumen

Agua efectiva (Total de mezclado)	=	198.59	litros
Cemento	=	372.73	kg
Agregado fino (Húmedo)	=	751.73	kg
Agregado grueso (Húmedo)	=	939.79	kg

DOSIFICACIÓN EN PESO

1 :	2.02 :	2.52 /	23	litros de agua /bls
c	**af**	**ag**	**agua**	
372.73	**751.73**	**939.79**	**198.59**	198.59
372.73	**372.73**	**372.73**	**372.73**	

Relación agua - cemento de diseño :	205	/	373	= 0.55
Relación agua - cemento efectiva :	199	/	373	= 0.53

9.2. ANEXO B: Constancia de ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE ESTRUCTURAS

CONSTANCIA 014 – 2025 LEME – FICSA

El que suscribe, Director encargado del Departamento Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

HACE CONSTAR:

Que los bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:

SANTILLAN MONTALVO ERICK MANUEL
QUISPE HUAMAN RONAL RICHARD

Han realizado sus ensayos desde el 4 Julio del 2025 al 13 Noviembre del 2025 en este laboratorio - LEME.

TIPOS DE ENSAYOS	CANTIDAD
• Contenido de humedad del agregado fino	(1)
• Contenido de humedad del agregado grueso	(1)
• Granulometría del agregado fino	(3)
• Granulometría del agregado grueso	(3)
• Ensayo de densidad suelta del agregado fino	(3)
• Ensayo de densidad suelta agregado grueso	(3)
• Ensayo densidad Compactada agregado fino	(3)
• Ensayo densidad Compactada agregado grueso	(3)
• Peso específico de masa del agregado grueso	(1)
• Peso específico de masa del agregado fino	(1)
• Grado de absorción del agregado fino	(1)
• Grado de absorción del agregado grueso	(1)
• Diseño de Mezclas f´c = 210 kg/cm2 – Patrón	(1)
• Contenido de humedad de la ceniza de totora	(1)
• Granulometría de la Ceniza de Totora	(1)
• Peso Específico de la Ceniza de Totora	(1)
• Diseño de Mezclas f´c = 210 kg/cm2 - Proporción 0%,5%,8%11% de Ceniza de Totora.	(4)
• Medición del Asentamiento del Concreto Fresco – Patrón 0%,5%,8%11% Ceniza de Totora.	(4)
• Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco en muestras Patrón, 0%,5%,8%11% de Ceniza de Totora.	(4)
• Determinación del Peso Unitario del Concreto Fresco en muestras Patrón, 0%,5%,8%11%.de Ceniza de Totora	(4)
• Elaboración de probetas cilíndricas de Concreto – Patrón 0%,5%,8%11%, de Ceniza de Totora.	(48)
• Curado de Especímenes de Concreto Endurecidos en el Laboratorio	(48)
• Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en muestras Patrón, 0%,5%,8%11%, de Ceniza de Totora	(36)
• Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en muestras cilíndricas Patrón 0%,5%,8%11%, de Ceniza de Totora.	(12)

Para dar cumplimiento a un capítulo de su proyecto de Tesis: **"CENIZA DE TOTORA, COMO SUSTITUYENTE DEL CEMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHICLAYO LAMBAYEQUE, 2025", con código N° IC_V_2025_017"**

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lambayeque, 10 de Diciembre del 2025

DIRECTOR
U.N.P.R.G.

DR. ING FARIAS FEIJOO JUAN HERMAN
DIRECTOR (e) DAIC - FICSA

9.3. ANEXO C: Boleta electrónica Cemento Pacasmayo tipo I



NEGOCIOS SR. DE LA MISERICORDIA S.A.C.

VENTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION POR MAYOR Y MENOR
SERVICIO DE TRANSPORTE DE CARGA A NIVEL NACIONAL

CAL. MARIANO CORNEJO N-405 M NVO. SAN LORENZO I JLO - CHICLAYO - LAMBAYEQUE
AV. PERU SN - MERCADO LA DESPENSA - JLO - CHICLAYO - LAMBAYEQUE
JR. EZEQUIEL MONTOYA Nro. 870 CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
TELF. 074- 265294 CEL.941890680 / 939125993 EMAIL: negocios_morales25@hotmail.com

R.U.C. 20539088379
BOLETA ELECTRÓNICA
N° B001-0003934

SEÑOR(ES) : ERICK SANTILLAN MONTALVO
R.U.C. : DNI77078017
DIRECCIÓN:

FECHA : 30/09/2025
MONEDA : SOLES

TIP.VENTA : MERCADERIA
N° de GUIA :

VENDEDOR: OFICINA
COND. DE PAGO : CONTADO

ITM	CANT.	U.M.	DESCRIPCIÓN	P.UNIT.	IMPORTE
1	4.00	BOL	CEMENTO PACASMAYO TIPO I X 42.5 KG	33.40	133.60

SON : CIENTO TREINTA Y TRES CON 60/100 SOLES

Observaciones:

Total Gravado	S/	113.22
Total Inafecto	S/	0.00
Total Exonerado	S/	0.00
I.G.V. 18%	S/	20.38
TOTAL	S/	133.60

Representación impresa de la Factura Electrónica. Podrá ser consultada en www.ekamperu.com/fe. Autorizado mediante Resolución de Intendencia N 287-2017/SUNAT

9.4. ANEXO D: Hoja técnica Cemento tipo I-Pacasmayo



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES

Saco regular 42.5 kg	Ecosaco 42.5 kg	A granel	Big Bag (1 tonelada)

*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO

Utilizar agregados y materiales de buena calidad.

A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

1. Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
2. Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
3. Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
4. Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
5. Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
6. Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
7. Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.



Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
O escanea el código QR:



¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco **genera cero desperdicios**, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

1. 

AGREGA la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.

2. 

AÑADE el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.

3. 

AJUSTA la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.

4. 

MEZCLA hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

***Tipo I** se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

***Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.**

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



NTP 334.009
ASTM C 150
Cemento Portland



DS 001-2022 PRODUCE
Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1	2	3	4	5

*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES QUE PUEDES ALCANZAR POR USO DEL PRODUCTO

Este producto puede contribuir a obtener puntos en las siguientes certificaciones de construcción sostenible:

LEED ®

- Tiene Declaración Ambiental de Producto de Tipo III, validada por un tercero.
- Certificación ISO 14001.

Con estas características el cemento Tipo I puede contribuir a alcanzar 1 punto en la categoría de materiales y recursos de la certificación LEED.

Bono Mi Vivienda Sostenible

- Cumple con los requerimientos del Bono Mi Vivienda Sostenible del Fondo Mi Vivienda para Eco Materiales, **hasta el grado 3.**

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de GBC pe

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
O escanea el código QR:



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	< 3.0
SO_3	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	< 2.5 - 2.95 >
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	< 3.3
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	< 1.2

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire en Mortero	Máximo	12	%	NTP 334.048	< 7 - 10 >
Finura					
Superficie específica	Mínimo	260	m^2/kg	NTP 334.002	>= 380
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	< 0.20
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 24.1 (>= 3500)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 30.3 (>= 4400)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 37.9 (>= 5500)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	< 110 - 150 >
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	< 230 - 260 >
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	< 0.010

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
O escanea el código QR:

Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú
Manufactured by CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria

NTP 334.009:2022

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado: CSC-CER1016270
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023-08-18	Fecha Última Modificación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date:	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17065
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Versión 010

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

icontec

Sello de Calidad

Esquema de certificación 5

Otorga el certific ado de confo rmidad de producto ICONTEC (Esquem a de certific ación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certific ate of conformity product ICONTEC (Certific ation Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMEN TO PORTLAND

Fabricado por CEMEN TOS PACASMA YO S.A.A , en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

Manufactured by CEMENTOS PACASMAYO S.A.A ,in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria

ASTM C150/C150M-20:2020

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisit os establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICO NTEC
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements s et forth in the audit criteria and the " R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certific ado: CSC -CER1016284
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023 08-18	Fecha Última Modif icación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date:	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

icontec

Sello con Reglamento Técnico

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú
Manufactured by CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria

Decreto Supremo No 001 -2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General.

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the " R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado : CSR-CER1016291
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023-08-18	Fecha Última Modificación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17065
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C, Colombia

Sello con Reglamento Técnico

Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por CEMENTOS SELVA S.A.C, en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martin, Perú.

Manufactured by CEMENTOS SELVA S.A.C, en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martin, Perú.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

Decreto Supremo N° 001-2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the " R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado : CSR-CER1016302
Certificate

Fecha de Aprobación: Approval Date:	2023-08-18	Fecha Última Modificación: Last Modification Date:	
Fecha de Renovación: Renewal Date:		Fecha de Vencimiento: Expiration Date:	2029-08-17

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17065
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por CEMENTOS SELVA S.A.C, en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martín, Perú.

Manufactured by CEMENTOS SELVA S.A.C, en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martín, Perú.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009:2022

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the " R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado: CSC -CER1016287
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023-08-18	Fecha Última Modificación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date:	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Version 09

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

Esquema de certificación 5

Otorga el certific ado de confo rmidad de producto ICONTEC (Esquem a de certific ación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMEN TO PORTLAND

Fabricado por CEMENTOS SELVA S.A.C , en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martin, Perú.

Manufactured by CEMENTO S SELVA S.A.C , en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martin, Perú.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

ASTM C 150/C150M-20:2020

Cemen tos Pórtl and
Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisit os establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICO NTEC
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements s et forth in the audit criteria and the " R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certific ado: CSC -CER1016294
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023 08-18	Fecha Última Modif icación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date:	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto En rique Mon toya Villa
Director Ejecut ivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accreditated by:

ANAB
ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17065
PRODUCT CERTIFICATION BODY
ID # 0677

F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

9.5. ANEXO E: Panel Fotográfico

A. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Cuarteo de los agregados



Figura 30

Proceso de cuarteo aplicado



Figura 31

Proceso de cuarteo aplicado al agregado grueso.

ENSAYOS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

Contenido de humedad de los agregados

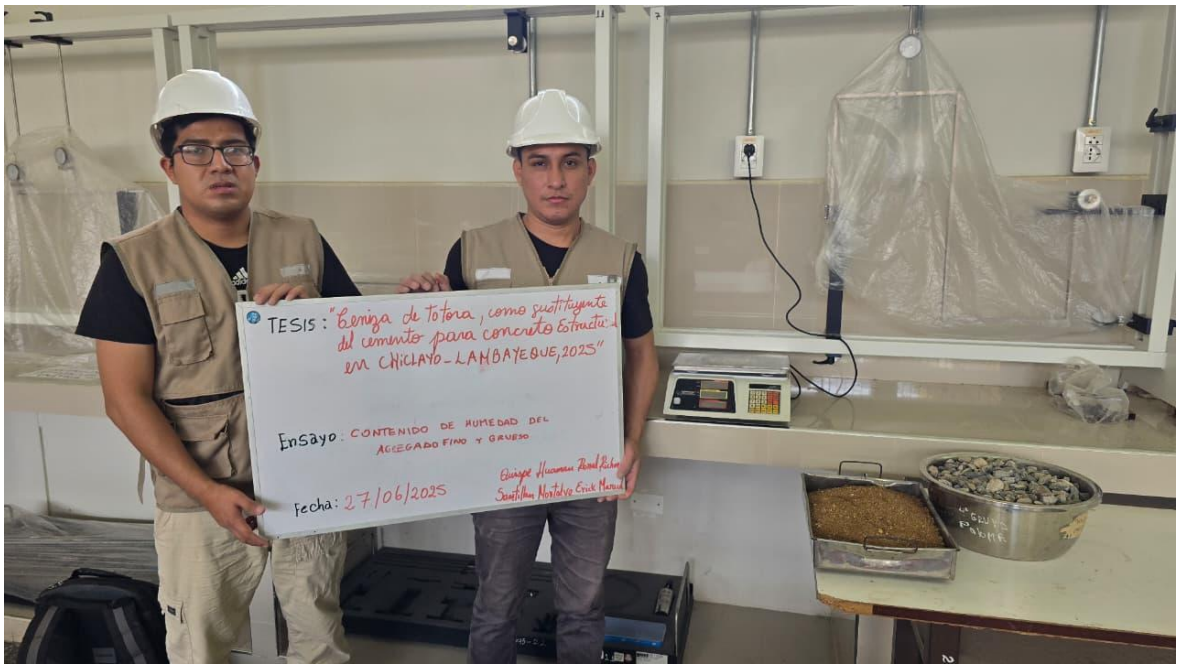


Figura 32

Pesaje con balanza calibrada del agregado fino y grueso.



Figura 33

Colocación horno eléctrico de muestras por 24 horas.



Figura 34

Retiro de muestras al horno eléctrico tras el periodo de secado luego de 24 horas

Análisis granulométrico de los agregados



Figura 35

Proceso mediante tamizado del agregado fino



Figura 36

Análisis granulométrico del agregado grueso



Figura 37

Determinación de la granulometría del agregado grueso mediante tamizado

Peso unitario suelto y varillado de los agregados



Figura 38

Peso unitario suelto del agregado grueso

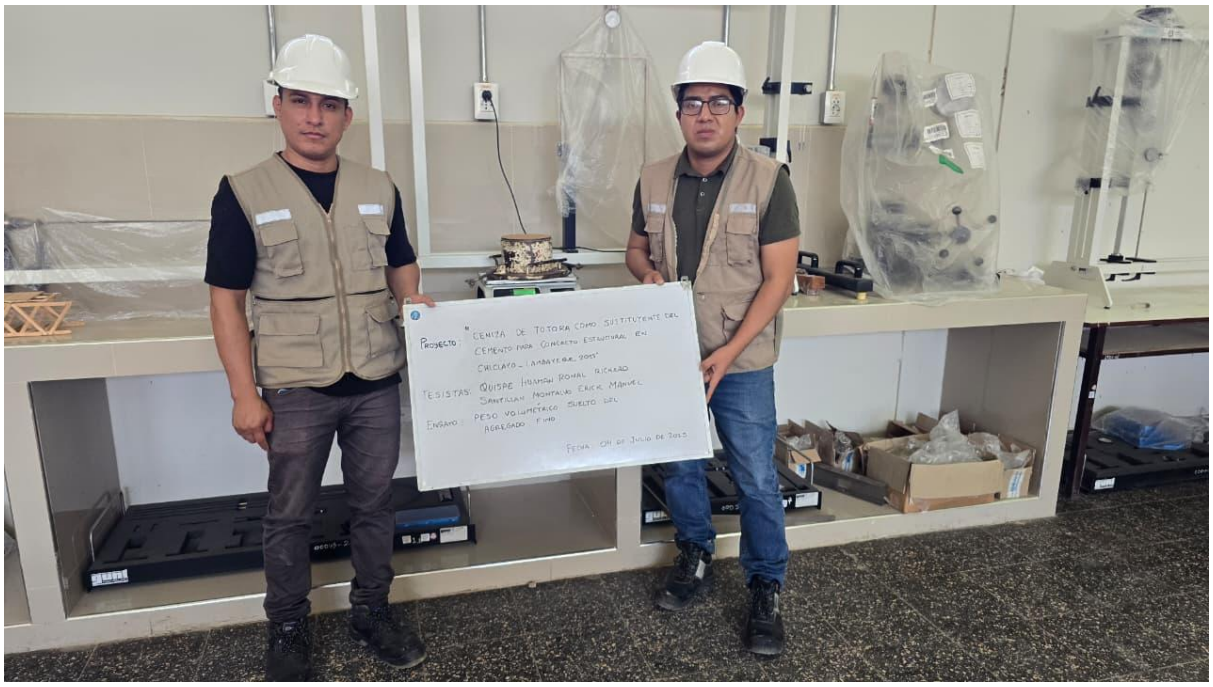


Figura 39

Peso unitario suelto y varillado para los agregados



Figura 40

Pesaje en conjunto del molde y agregado fino para ensayo de peso unitario.

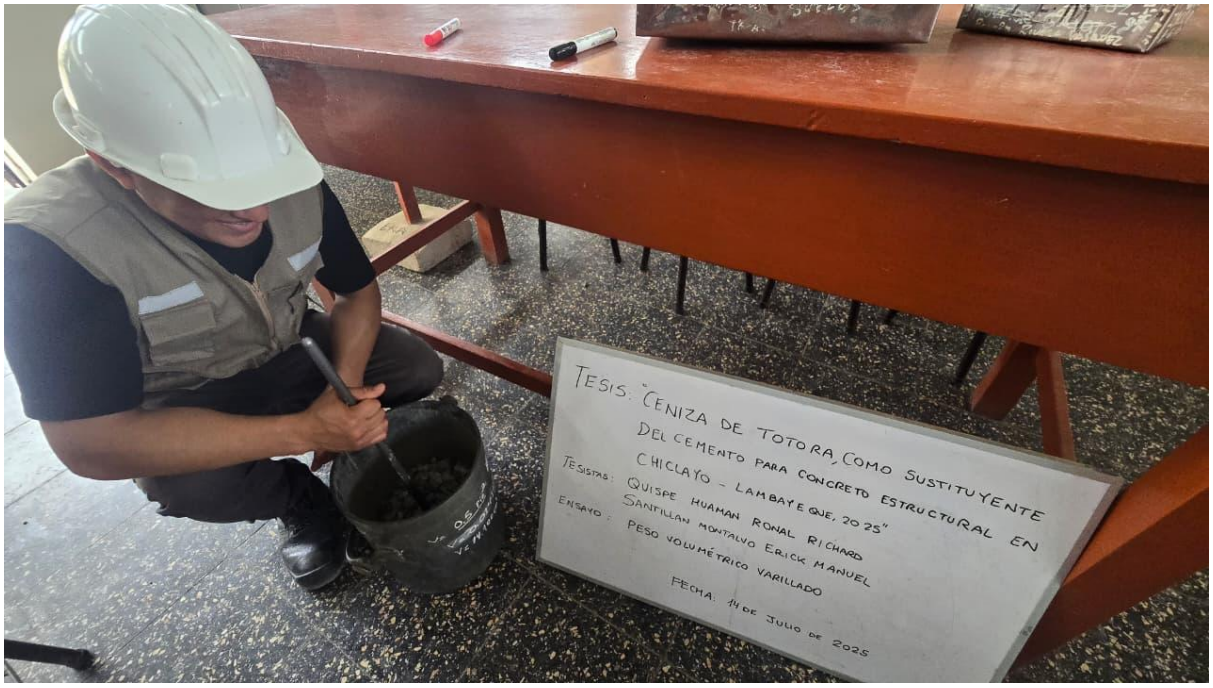


Figura 41

Peso unitario varillado del agregado grueso



Figura 42

Peso de molde más muestra del agregado grueso

Peso específico de masa y grado de absorción de los agregados

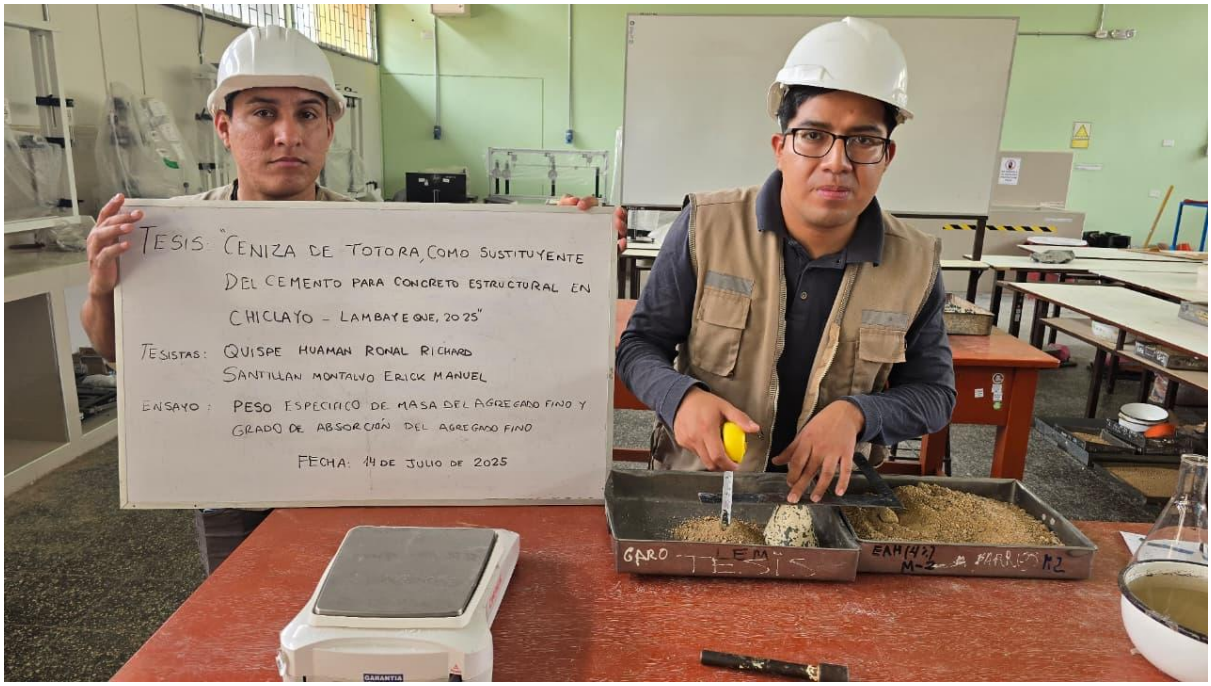


Figura 43

Muestra superficialmente seca (SSD) durante el ensayo



Figura 44

Verificación de la condición superficialmente seca (SSD) de la muestra



Figura 45

Secado manualmente y superficialmente del agregado grueso saturado

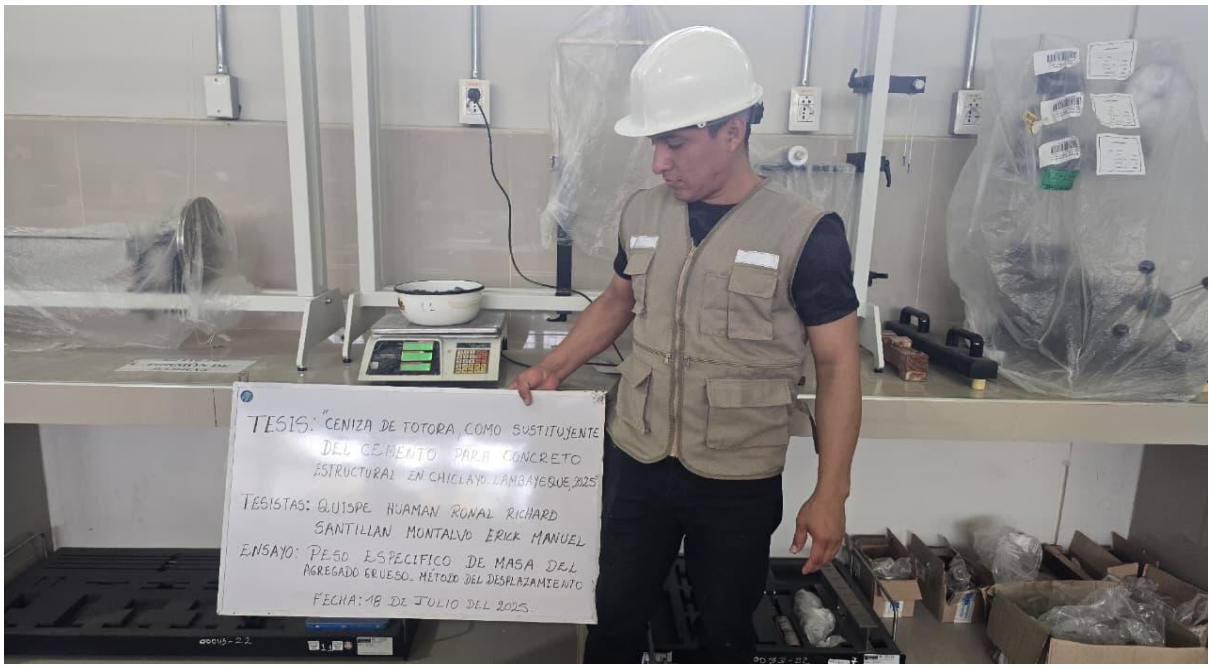


Figura 46

Preparación de muestras para ensayo de peso específico.



Figura 47

Peso de agregado grueso sumergido en agua

B. CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DE TOTORA



Figura 48

Zona de reconocimiento de crecimiento de totora - distrito de Chiclayo.



Figura 49

Selección y recolección de tallos de totora en zona de ribera



Figura 50

Proceso de secado natural de tallos de totora previo a su transformación en ceniza.



Figura 51

Proceso de calcinación en horno artesanal y acopio de puzolana vegetal obtenida.

Ensayos de granulometría por tamizado para la ceniza de totora



Figura 52

Ensayo de Granulometría por Tamizado de ceniza de totora.

Ensayos de contenido de humedad para la ceniza de totora



Figura 53

Ensayo de Contenido de Humedad para ceniza de totora tamizada.

Ensayo de peso específico



Figura 54

Determinación de peso específico de la ceniza de totora.



Figura 55

Ensayo de peso específico la ceniza de totora saturada

C. DISEÑO Y PREPARACION DE MEZCLAS DE CONCRETO



Figura 56

Acondicionamiento y habilitación de moldes cilíndricos para la mezcla



Figura 57

Pesaje en balanza calibrada del agregado grueso en la dosificación



Figura 58

Pesaje de acuerdo a la dosificación requerida del agregado fino



Figura 59

Pesaje de cemento Tipo I para la elaboración de dosificación requerida



Figura 60

Pesaje previo de ceniza de totora para su uso como material sustituyente del cemento.



Figura 61

Preparación de concreto en mezcladora eléctrica de concreto

D. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Ensayo de consistencia – Slump



Figura 62

Slump del concreto patrón.



Figura 63

Slump del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora.



Figura 64

Slump del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora.



Figura 65

Slump del concreto con 89% cemento + 11 % ceniza de totora.

Ensayo de peso unitario

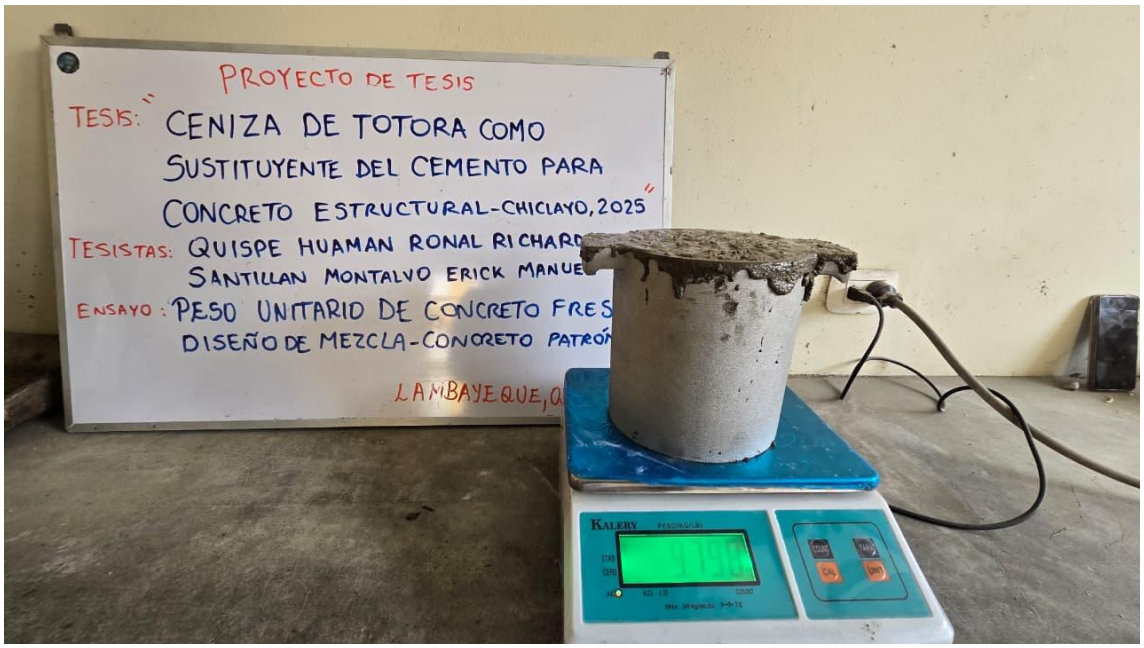


Figura 66

Medición de la mezcla más molde para obtener el peso unitario del concreto en condición fresca.



Figura 67

Evaluación del peso unitario del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora.



Figura 68

Evaluación del peso unitario del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora.

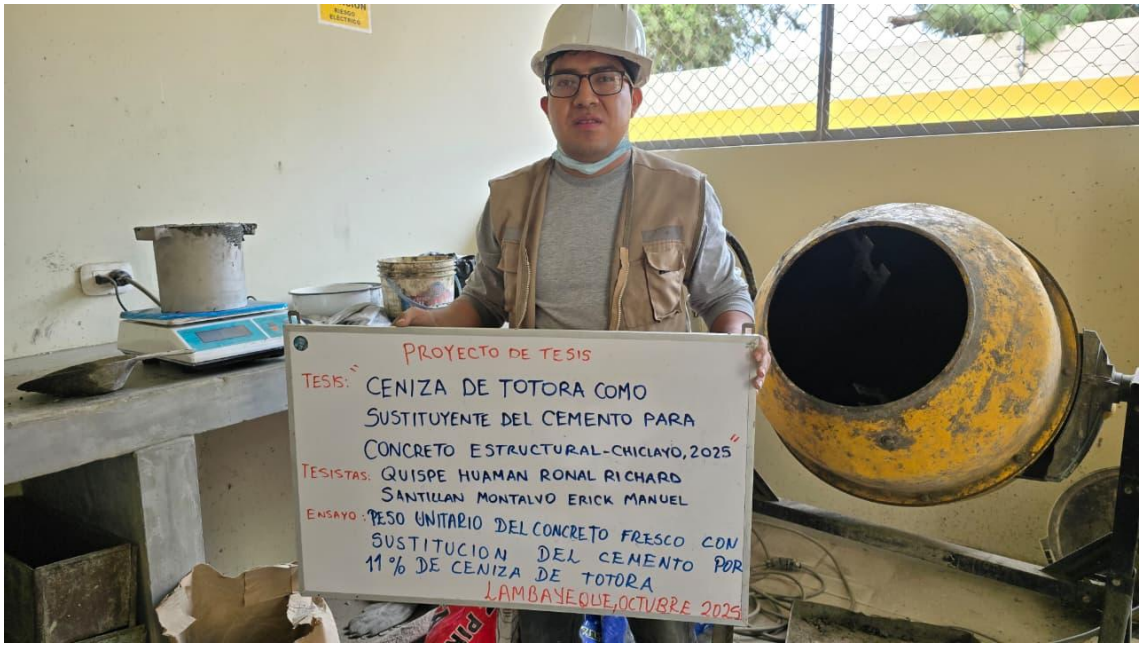


Figura 69

Evaluación del peso unitario del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora.

Ensayo de temperatura del concreto



Figura 70

Lectura de la temperatura del concreto patrón en estado fresco.



Figura 71

Temperatura del concreto con incorporación de 5 %, 8 % y 11 % de ceniza de totora.

E. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia a la compresión



Figura 72

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 07 días



Figura 73

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 14 días.



Figura 74

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto patrón a 28 días.



Figura 75

Estado final de especímenes cilíndricas de con 5%,8 y 11% de ceniza de totora a 7 días



Figura 76

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 14 días.



Figura 77

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora a 14 días.



Figura 78

Muestras representativas de probetas a ensayar en los 14 días de curado para concreto con 11 % ceniza de totora.



Figura 79

Manipulación de prensa hidráulica para rotura de probetas de concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 28 días.



Figura 80

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 92% cemento + 8% ceniza de totora a 28 días.



Figura 81

Rotura de especímenes cilíndricos del concreto con 89% cemento + 11% ceniza de totora a 28 días.

Resistencia a la tracción indirecta



Figura 82

Rotura de especímenes cilíndricos a tracción indirecta del concreto patrón a 28 días.



Figura 83

Rotura de especímenes cilíndricos para tracción indirecta del concreto con 95% cemento + 5% ceniza de totora a 28 días.



Figura 84

Colocación de espécimen cilíndrico para su ensayo de tracción indirecta.



Figura 85

Rotura de especímenes cilíndricas de tracción indirecta los 28 días de curado con los porcentajes planteados de 5%,8% y 11% con el material sustituyente ceniza de totora.