

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Influencia de la incorporación de mucílago de cactáceas en la resistencia

a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de

Andahuaylas, 2023

Asesor:

Mg. Carrión Abollaneda, Richard

Autores:

Leguía Ortiz, Albert

Martínez Galván, Hernán

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Andahuaylas - Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 001

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Andahuaylas, a los 20 días del mes de junio del 2025, siendo las 10:30am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 051-2025-UTEA-FI-EPIC/SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Céspedes Reynaga Hirbin Félix
Dictaminante :	Mg. Taipe Mesares Elmer Yuri
Replicante :	Mg. Lagos Carbajal Wilmer Antony

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la incorporación de mucilago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Andahuaylas, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Martínez Galván, Hernán

(Apellidos y Nombres)

Br.: Leguía Ortiz, Albert

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Mayoría

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Martínez Galván, Hernán	Aprobado
Br. Leguía Ortiz, Albert	Aprobado

Siendo las 12:05 pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Céspedes Reynaga Hirbin Félix
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Taipe Mesares Elmer Yuri
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante: Mg. Lagos Carbajal Wilmer Antony
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Influencia de la incorporación de muclago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

18% INDICE DE SIMILITUD	17% FUENTES DE INTERNET	3% PUBLICACIONES	7% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Peruana Del Centro Trabajo del estudiante	1%
8	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
12	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Leguía Ortiz, Albert
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70422904
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0003-0220-9625
Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Martínez Galván, Hernán
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70379263
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-2053-3206
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mg. Carrión Abollaneda, Richard
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 41877537
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-1875-4180
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023 – 2024
Fuente de financiamiento	: Investigadores
Porcentaje de Similitud	: 18% con deposito
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Lo dedico principalmente a Dios, quién cuida y me protege en todo momento, a mis padres, hermanos, abuelos y amigos, quienes me impulsan a salir adelante en busca de mis objetivos más anhelados. Esta tesis es el fruto de su cariño, paciencia y confianza en mí ¡Gracias!

Albert Leguía O.

A mis padres que desde el cielo y al lado del señor me cuidan con sus bendiciones, y a mis hermanos por todo el esfuerzo y sacrificio brindándome todo el amor y motivación a lo largo de mis estudios.

Hernán Martínez G.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permanecer al lado mío, tenerme con salud y firme para salir airoso en cada momento, a mis padres Alicia Ortiz y Américo Leguía, tíos, primos y amigos, quienes son mi pilar, soporte, guía, ejemplo y motivo para lograr mis sueños y Gracias por ser parte de este importante capítulo de mi vida académica.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

En especial, al Ing. Hirbin Céspedes Reynaga, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso.

Albert Leguía O.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además, por el apoyo incondicional para poder cumplir mis sueños y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

Hernán Martínez G.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia del mucílago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Andahuaylas, 2023. Se desarrolló un estudio aplicado, explicativo y experimental, empleando el método hipotético-deductivo. Se realizaron ensayos en laboratorio a 63 testigos de concreto con distintos porcentajes de mucílago de cactus de San Pedro y penca de tuna, evaluando su impacto en la trabajabilidad, el peso unitario, la exudación y la resistencia a la compresión. La adición de mucílago afectó la trabajabilidad, reduciendo el slump a 3" con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro y a 3 1/4" con 2.00% de mucílago de penca de tuna. El peso unitario disminuyó de 2396.25 kg/m^3 a 2345.66 kg/m^3 con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro y a 2265.67 kg/m^3 con 2.50% de mucílago de penca de tuna. La exudación varió de 0.38% en el concreto patrón a 0.33% con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro y 0.25% con 2.50% de mucílago de penca de tuna. La resistencia a la compresión aumentó a 231.22 kg/cm^2 con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro y 227.14 kg/cm^2 con 2.00% de mucílago de penca de tuna. Se concluye que el mucílago influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, mejorando la resistencia a la compresión sin comprometer la cohesión de la mezcla.

Palabras clave: Exudación, Mezcla de concreto, Mucílago de cactáceas, Resistencia a la compresión, Trabajabilidad.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the influence of cactus mucilage on the compressive strength of concrete $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ in Andahuaylas, 2023. An applied, explanatory, and experimental study was conducted using the hypothetical-deductive method. Laboratory tests were performed on 63 concrete specimens with different percentages of San Pedro cactus and prickly pear mucilage, assessing their impact on workability, unit weight, exudation, and compressive strength. The addition of mucilage affected workability, reducing the slump to 3" with 1.00% San Pedro cactus mucilage and to 3 1/4" with 2.00% prickly pear mucilage. The unit weight decreased from 2396.25 kg/m^3 to 2345.66 kg/m^3 with 1.25% San Pedro cactus mucilage and to 2265.67 kg/m^3 with 2.50% prickly pear mucilage. Exudation varied from 0.38% in the control concrete to 0.33% with 0.75% San Pedro cactus mucilage and 0.25% with 2.50% prickly pear mucilage. Compressive strength increased to 231.22 kg/cm^2 with 1.00% San Pedro cactus mucilage and 227.14 kg/cm^2 with 2.00% prickly pear mucilage. It is concluded that mucilage influences the physical and mechanical properties of concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, improving compressive strength without compromising the cohesion of the mix.

Keywords: Exudation, Concrete mix, Cactus mucilage, Compressive strength, Workability.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice General.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xiii
Índice de anexos.....	xvi
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	18
2.1. Descripción y formulación del problema.....	18
2.1.1. Problema General.....	19
2.1.2. Problemas Específicos.....	19
2.2. Objetivos.....	20
2.2.1. Objetivo General.....	20
2.2.2. Objetivo Específicos.....	20
2.3. Justificación e importancia.....	20
2.4. Hipótesis.....	22
2.5. Variables.....	23

III. Marco Teórico	25
3.1. Antecedentes de Investigación	25
3.2. Bases teóricas.....	31
3.3. Definición de términos	45
IV. Metodología	48
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	48
4.2. Ámbito temporal y espacial	48
4.3. Población y muestra.....	49
4.4. Instrumentos	50
4.5. Procedimientos	53
4.6. Análisis de datos.....	54
4.7. Consideraciones éticas.....	55
V. Resultados y discusión	56
VI. Conclusiones	110
VII. Recomendaciones	112
VIII. Referencias	114
IX. Anexos	121

Índice de tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	23
Tabla 2	Tamaño de muestra de briquetas de concreto $f'c = 210\text{Kg}/\text{cm}^2$	49
Tabla 3	Análisis granulométrico por tamizado de agregado grueso.....	57
Tabla 4	Análisis granulométrico por tamizado de agregado fino	59
Tabla 5	Resistencia a la abrasión de los agregados	60
Tabla 6	Características del agregado grueso, agregado fino y cemento.....	65
Tabla 7	Diseño de mezcla del concreto patrón $f'c=210\text{ kg}/\text{cm}^2$	67
Tabla 8	Diseño de mezcla del concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro	68
Tabla 9	Diseño de mezcla del concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro	70
Tabla 10	Diseño de mezcla del concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro	71
Tabla 11	Diseño de mezcla del concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna.....	73
Tabla 12	Diseño de mezcla del concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna.....	74
Tabla 13	Diseño de mezcla del concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna.....	76
Tabla 14	Trabajabilidad del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas....	78
Tabla 15	Peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	80
Tabla 16	Exudación del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	83
Tabla 17	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210\text{ kg}/\text{cm}^2$ de testigos de concreto patrón	86
Tabla 18	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210\text{ kg}/\text{cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro	88

Tabla 19	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro.....	90
Tabla 20	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro.....	92
Tabla 21	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.50% de mucílago de penca de tuna.....	94
Tabla 22	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 2.00% de mucílago de penca de tuna.....	96
Tabla 23	Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 2.50% de mucílago de penca de tuna.....	98
Tabla 24	Variación de la resistencia a la compresión del concreto patrón y mucílago de cactáceas.....	85
Tabla 25	ANOVA de la resistencia a la compresión del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas a los 28 días.....	102
Tabla 26	Prueba post-hoc Tukey de la resistencia a la compresión del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas a los 28 días	103

Índice de figuras

Figura 1	Ubicación de la cantera Multiservicios Santa Lucía EIRL mediante GPS.....	56
Figura 2	Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso y agregado fino...	57
Figura 3	Curva granulométrica del agregado grueso	58
Figura 4	Gradación granulométrica del tamizado	59
Figura 5	Ensayo de abrasión de los Ángeles.....	60
Figura 6	Proceso de obtención de mucilago de cactus de San Pedro.....	62
Figura 7	Proceso de obtención de mucilago de penca de tuna.....	63
Figura 8	Materiales para el diseño de mezcla de concreto $f'c=210$ Kg/cm ² con aditivo	64
Figura 9	Materiales para el diseño de mezcla del concreto patrón $f'c=210$ Kg/cm ²	67
Figura 10	Materiales para el diseño del concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro	69
Figura 11	Materiales para el diseño del concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro	70
Figura 12	Materiales para el diseño del concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro	72
Figura 13	Materiales para el diseño del concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna	73
Figura 14	Materiales para el diseño del concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna	75
Figura 15	Materiales para el diseño del concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna	76
Figura 16	Ensayo de Slump del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	77
Figura 17	Trabajabilidad del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas....	78

Figura 18	Ensayo de peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	80
Figura 19	Peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	81
Figura 20	Ensayo de exudación del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	82
Figura 21	Exudación del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	83
Figura 22	Diseño de briquetas del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	85
Figura 23	Ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón.....	85
Figura 24	Resistencia a la compresión del concreto patrón y con mucilago de cactáceas	100
Figura 25	Variación porcentual de resistencia a la compresión por edad del concreto patrón y aditivo de mucilago de cactáceas.....	101
Figura 26	Preparación de penca de tuna y cactus de San Pedro	194
Figura 27	Análisis granulométrico de agregados.....	194
Figura 28	Ensayo de abrasión de los Ángeles.....	195
Figura 29	Peso específico u absorción de agregados	195
Figura 30	Materiales para el diseño de concreto patrón	196
Figura 31	Ensayos de Slump, peso unitario y exudación del concreto patrón.....	196
Figura 32	Materiales para el diseño de concreto con aditivo de mucilago de penca de tuna	197
Figura 33	Ensayos de Slump, peso unitario y exudación del concreto con aditivo de mucilago de penca de tuna.....	197
Figura 34	Materiales para el diseño de concreto con aditivo de mucilago de cactus de San Pedro	198

Figura 35	Ensayos de Slump, peso unitario y exudación del concreto con aditivo de mucilago de cactus de San Pedro.....	198
Figura 36	Preparación de briquetas de concreto patrón	199
Figura 37	Preparación de briquetas de concreto con aditivo de mucilago de cactus de San Pedro	199
Figura 38	Preparación de briquetas de concreto con aditivo de mucilago de penca de tuna	200
Figura 39	Resistencia a la compresión del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas	200

Índice de anexos

Anexo 1.	Matriz de consistencia	122
Anexo 2.	Instrumento de recolección de datos.....	124
Anexo 3.	Cálculo para el diseño de mezcla por el método ACI	138
Anexo 4.	Ficha de validación de instrumentos.....	145
Anexo 5.	Certificados de calibración	148
Anexo 6.	Resultados de laboratorio de trabajabilidad, peso unitario y exudación del concreto patrón	158
Anexo 7.	Resultados de laboratorio de la rotura de probetas	180
Anexo 8.	Panel fotográfico de la investigación.....	194

I. Introducción

En el contexto actual de la industria de la construcción, la búsqueda de materiales innovadores que mejoren las propiedades del concreto es crucial para el desarrollo de estructuras más eficientes y sostenibles. Una de las alternativas emergentes es la incorporación de aditivos naturales, como el mucílago de cactáceas, en las mezclas de concreto. Este estudio tiene como propósito evaluar, mediante pruebas experimentales, en qué medida la adición de mucílago de cactáceas influye en la resistencia a la compresión del concreto, con una resistencia de diseño de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, en la ciudad de Andahuaylas durante el año 2023.

El objetivo principal fue determinar en qué medida diferentes porcentajes de mucílago afectan no solo la resistencia a la compresión, sino también otras propiedades fundamentales del concreto, como el slump, el peso unitario y la exudación. La metodología incluyó ensayos experimentales de laboratorio para medir estas propiedades, siguiendo un enfoque hipotético-deductivo, y permitiendo analizar las variaciones en el comportamiento del concreto con la incorporación de mucílago de cactáceas. Los resultados de esta investigación contribuyen a la optimización de las mezclas de concreto en la industria de la construcción, ofreciendo una alternativa sostenible y eficiente.

Por lo que, para el cumplimiento de los objetivos propuestos el trabajo se organizó de la siguiente forma:

El planteamiento del problema, en este capítulo se presenta la problemática que dio origen a la investigación, se definen los objetivos generales y específicos, y se plantean las hipótesis. También se justifica la importancia y relevancia del estudio en el contexto de la industria de la construcción.

El marco teórico, este capítulo aborda las teorías y definiciones que sustentan la investigación, detallando conceptos clave relacionados con el concreto, sus propiedades, y

el uso de aditivos naturales como el mucílago de cactáceas. Se incluyen antecedentes de estudios previos y fundamentos científicos que respaldan el uso del mucílago en mezclas de concreto.

La metodología, donde se describe el diseño experimental y los métodos utilizados para llevar a cabo la investigación. Esto incluye la selección de materiales, preparación de mezclas de concreto con diferentes porcentajes de mucílago de cactáceas, y los procedimientos de ensayo en laboratorio para evaluar la resistencia a la compresión y otras propiedades del concreto.

Los resultados y discusión, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos experimentales. Se analizan y discuten los datos para determinar el impacto del mucílago de cactáceas en la resistencia a la compresión, trabajabilidad, peso unitario y exudación del concreto. Se comparan los resultados con estudios previos y se interpreta su significado práctico.

Las conclusiones, sintetizan las principales conclusiones derivadas de la investigación, destacando la influencia del mucílago de cactáceas en las propiedades del concreto. Se discuten las implicaciones de los hallazgos y su relevancia para la industria de la construcción.

Las recomendaciones, que señalan en base a los resultados y conclusiones del estudio, propuestas prácticas para la incorporación de mucílago de cactáceas en mezclas de concreto. También se sugieren áreas para futuras investigaciones.

Las referencias, donde se recopilan todas las fuentes bibliográficas y estudios citados a lo largo de la investigación, proporcionando un marco de referencia para los lectores interesados en profundizar en el tema.

Los anexos, incluyen materiales complementarios que apoyan la investigación, como la matriz de consistencia, certificados de calibración de los equipos y el panel fotográfico que respaldan la veracidad del trabajo realizado

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En el contexto internacional, el progreso económico y social se debe al importante rol que juega la construcción, sin embargo, esto trae consigo retos medioambientales importantes. Por lo que, buscar alternativas sostenibles y promocionar métodos de producción de concreto con respeto hacia el ambiente se ha vuelto imperante debido a la preocupación global por el impacto ambiental. La incorporación de adiciones naturales como el mucílago de cactáceas representa una oportunidad para mejorar la sostenibilidad de la construcción (Torres y Díaz, 2020).

En el entorno nacional, el sector constructivo es un importante impulsor de la economía, pero afronta desafíos sociales y ambientales que implican la sobreexplotación de recursos naturales, así como la excesiva emisión de carbono relacionada con la elaboración de concreto. Por lo que, esta problemática ha originado que se busquen opciones sostenibles y que permitan optimizar el empleo de materiales de la localidad y minimicen el impacto en el medio ambiente. La incorporación de aditivos naturales, como el mucílago de cactáceas, ofrece una doble ventaja: contribuir a la reducción de la huella de carbono y mejorar propiedades mecánicas del concreto, como su resistencia y trabajabilidad, lo que podría promover la ecoeficiencia en la construcción en el Perú (Torres, 2017).

En el contexto apurimeño, en especial en la ciudad de Andahuaylas se vive un incremento en la demanda de construcciones que promueven el desarrollo local, ya sea a nivel de infraestructura o viviendas. Aunque el concreto convencional es muy utilizado en la mayoría de casos, en otros se utilizan algunos aditivos comerciales para lograr mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del concreto como la trabajabilidad, resistencia, entre otros. No obstante, a pesar de que son efectivos, el uso de estos aditivos resulta costoso y

generalmente al depender de proveedores comerciales, esto puede subir aún más el costo de producción. Asimismo, emplear este tipo de productos representa cuestiones del impacto que tienen sobre el ambiente, en especial al producirlo, así como en su transporte.

Dado que la región cuenta con una abundante presencia de cactáceas, surge la necesidad de explorar alternativas naturales, como el mucílago de penca de tuna, para mejorar el concreto de manera más económica y sostenible. Este aditivo natural, al ser un recurso local, no solo reduciría los costos asociados con la compra y transporte de aditivos comerciales, sino que también podría disminuir la huella de carbono de la construcción. Asimismo, el mucílago podría adaptarse mejor a las condiciones geográficas y climáticas de la región, proporcionando una opción viable para promover prácticas constructivas más amigables con el medio ambiente en Andahuaylas (Valverde, 2023).

Esta investigación surge en respuesta a la necesidad de encontrar alternativas más sostenibles en la industria de la construcción, tanto a nivel mundial como nacional y local. En este caso específico, el desafío radica en reducir la dependencia de aditivos comerciales costosos y de alto impacto ambiental, buscando mejorar las propiedades del concreto sin sacrificar su rendimiento. En este contexto, se plantea evaluar cómo la incorporación del mucílago de cactáceas, un recurso natural local, puede influir en la resistencia a la compresión del concreto, y si su uso puede contribuir a promover prácticas constructivas más sostenibles y accesibles en la región.

2.1.1. Problema General

¿En qué medida influye la incorporación de mucilago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023?

2.1.2. Problemas Específicos

a) ¿En qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas afecta la trabajabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm²?

- b) ¿En qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas impacta en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm²?
- c) ¿En qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas modifica la exudación del concreto $f'c=210$ kg/cm²?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la incorporación de mucilago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023.

2.2.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar en qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas afecta la trabajabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- b) Evaluar en qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas impacta en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- c) Analizar en qué medida la incorporación de mucilago de cactáceas modifica la exudación del concreto $f'c=210$ kg/cm².

2.3. Justificación e importancia

La investigación se justifica a nivel teórico, práctico, social y metodológico; a continuación, se detalla cada uno de estos aspectos que hacen que este trabajo sea importante.

2.3.1. Justificación Teórica

La investigación aporta al conocimiento científico de la ingeniería civil al explorar, de manera específica, el efecto del mucilago de cactáceas como aditivo natural en la resistencia a la compresión del concreto estructural. Al tratarse de un aditivo novedoso, permite ampliar la comprensión teórica sobre cómo ciertos compuestos naturales pueden modificar las propiedades del concreto. Además, se espera generar información valiosa sobre

la viabilidad de emplear recursos locales en reemplazo de aditivos industriales, contribuyendo al desarrollo de tecnologías constructivas sostenibles.

2.3.2. *Justificación Práctica*

La investigación tiene relevancia directa para los profesionales de la construcción, ya que ofrece una alternativa práctica para mejorar las mezclas de concreto en Andahuaylas. Al incorporar el mucílago de cactáceas, un recurso accesible y local, se pretende no solo mejorar la resistencia y durabilidad del concreto, sino también promover el uso de materiales más sostenibles. La aplicación de estos hallazgos podría ser útil en obras de infraestructura urbana, rurales, y de viviendas, fortaleciendo la industria constructiva local.

2.3.3. *Justificación Social*

En un contexto como el de Andahuaylas, donde la demanda de infraestructura es creciente, esta investigación tiene un impacto social significativo. La mejora de la calidad del concreto no solo garantiza la seguridad de las construcciones, sino que también impulsa el desarrollo regional, permitiendo que más proyectos sean sostenibles y accesibles. Al emplear un recurso local como el mucílago de cactáceas, se promueve un modelo de construcción que respeta el medio ambiente y que beneficia a las comunidades al generar una menor huella de carbono y reducir la dependencia de recursos externos.

2.3.4. *Justificación Metodológica*

La investigación se sustenta en pruebas experimentales rigurosas, con ensayos de laboratorio que siguen normas internacionales como el ASTM, adaptadas para evaluar el desempeño del concreto con adición de mucílago de cactáceas. El enfoque metodológico propuesto permite obtener datos específicos sobre la resistencia a la compresión, trabajabilidad, peso unitario, y otras propiedades clave del concreto. Los resultados contribuirán a validar el uso de este aditivo natural, proporcionando una nueva opción metodológica para futuros estudios en la ingeniería civil.

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis General*

La incorporación de mucilago de cactáceas influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

- a) La incorporación de mucilago de cactáceas influye significativamente en la trabajabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- b) La incorporación de mucílago de cactáceas impacta significativamente en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- c) La incorporación de mucílago de cactáceas modifica significativamente la exudación del concreto $f'c=210$ kg/cm².

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de medición
<p>Variable independiente</p> <p>Mucilago de cactáceas</p> <p>El mucílago de cactáceas es una sustancia gelatinosa y viscosa que se encuentra en varias especies de cactus. Se produce en las partes verdes y carnosas de la planta, como las hojas o el tallo. Este mucílago tiene varias funciones para la planta, incluyendo la retención de agua, la protección contra la deshidratación y la captura de nutrientes (Luna-Zapién et al., 2023). Su capacidad para retener agua y proporcionar propiedades adhesivas podría influir en las características del concreto, como su resistencia y durabilidad (Huerta, 2020).</p>	<p>Dosificación del mucilago de cactus de San Pedro</p> <p>Según Huerta (2020) manifiesta que su inclusión como aditivo en dosificaciones de 0.5% y 1.0% pueden mejorar la consistencia del concreto, asimismo, se incrementa la resistencia a la compresión del concreto.</p>		<p>0.75%, 1% y 1.25% de mucilago de cactus de San Pedro</p>	<p>Norma E.060. Concreto armado</p>	<p>%</p>
	<p>Dosificación del mucilago de penca de tuna</p> <p>En la construcción, se utiliza como aditivo en la mezcla de concreto para mejorar ciertas propiedades, como la trabajabilidad y la retención de agua (Torres, 2017).</p>		<p>1.5%, 2% y 2.5% de mucilago de penca de tuna</p>	<p>Norma E.060. Concreto armado</p>	<p>%</p>

Variables	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de medición
Variable dependiente Resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ Es la capacidad del concreto para resistir fuerzas que actúan en dirección opuesta, comprimiéndolo a lo largo de su eje. Se expresa en unidades de presión, generalmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) o en pascales (Pa), y representa la máxima fuerza que el concreto puede soportar antes de colapsar o romperse. Es un indicador de la calidad y capacidad de carga del concreto en aplicaciones estructurales (Matallana, 2017).	Propiedades físicas del concreto Las propiedades físicas del concreto son las características que definen su comportamiento y calidad en estado fresco, algunas de estas son el Slump, la densidad y la exudación (Matallana, 2017).	Trabajabilidad	cm o pulg.	NTP 339.035 - 1999	cm o pulg.
		Peso unitario	Kg/m ³	NTP 339.046.20 08	Kg/m ³
		Exudación	ml/cm ²	NTP 339.077:20 13, revisada 2017	ml/cm ²
	Propiedades mecánicas del concreto Determinan la viabilidad y durabilidad del concreto en aplicaciones de construcción (Matallana, 2017)	Resistencia a la compresión La capacidad para resistir cargas que tienden a comprimirlo, y es indicador de su rendimiento (Matallana, 2017).	kg/cm ²	NTP 339. 084:2012 revisada 2017	kg/cm ²

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de Investigación

3.1.1. A nivel internacional

Torres-Acosta y Díaz-Cruz (2020), en su artículo “Concrete durability enhancement from nopal (*opuntia ficus-indica*) additions”, investigaron el impacto del polvo de nopal deshidratado (dNp) y el mucílago de nopal en la durabilidad del concreto. El objetivo fue evaluar cómo estos aditivos afectan el transporte de cloruro y otras propiedades de durabilidad. La hipótesis planteada fue que el nopal mejoraría el desempeño del concreto. Metodológicamente, analizaron adiciones de <2% de dNp y mucílago exudado (eNm) y cocido (cNm) en varias edades del concreto. Los resultados indicaron que dNp redujo el índice RCP hasta un 10%, eNm mejoró hasta un 30%, y cNm entre un 20% y 40%. La conclusión fue que los derivados del nopal pueden bloquear los poros en la matriz del cemento, impidiendo el transporte de agua y cloruro.

Kammoun y Trabelsi (2019), en su artículo “Development of lightweight concrete using prickly pear fibres”, tuvieron como objetivo desarrollar un concreto ecológico y ligero empleando fibras de penca de tuna y evaluar sus propiedades físico-mecánicas. La hipótesis planteada fue que las fibras de penca de tuna mejorarían las propiedades del concreto en términos de resistencia y ligereza. Para comprobarlo, utilizaron una metodología experimental en la que las fibras fueron tratadas con agua caliente y agregadas en distintas cantidades al concreto. Los resultados mostraron un aumento del 170% en la resistencia a la flexión, una reducción del 42% en la conductividad térmica, y una disminución del peso del concreto en un 25%. Sin embargo, la resistencia a la compresión fue menor, aunque aceptable, con un contenido de fibras de 15 kg/m³. La conclusión del estudio fue que las fibras de penca de tuna mejoran algunas propiedades del concreto, pero disminuyen ligeramente su resistencia a la compresión.

Aquilina et al. (2018), en su artículo “The application of Natural Organic Additives in Concrete: Opuntia ficus-indica”, tuvieron como objetivo preparar extractos de Opuntia ficus-indica (OFI) para integrarlos en mezclas de mortero y cemento. La hipótesis fue que el mucílago de OFI mejoraría el rendimiento del concreto al reemplazar el agua o el polvo de cemento. La metodología incluyó la sustitución de agua o cemento con OFI liofilizado en las mezclas. Los resultados mostraron que el uso de OFI optimizó la resistencia en morteros, pero debilitó las pastas de cemento. Además, se observó una mejora en la durabilidad del cemento, y una mayor demora en el fraguado tanto para morteros como para pastas, sugiriendo que el OFI puede actuar como retardante del fraguado.

Manríquez (2018), en su tesis titulada “Evaluación del mucílago de nopal para disminuir las fisuras causadas por retracción plástica en el hormigón”, tuvo como objetivo analizar el uso del mucílago de nopal como aditivo para reducir las grietas en el concreto debido a la retracción plástica. La hipótesis fue que el mucílago reduciría la formación de fisuras y mejoraría las propiedades del concreto. Utilizó una metodología experimental agregando 1,3%, 1,96% y 2,6% de mucílago de nopal en la mezcla, siguiendo las normas NCh 1019, ASTM C232 y NCh 1037. Los resultados mostraron una reducción del 20% en la exudación con un 2,6% de aditivo, junto con una disminución del 100% en las fisuras y un aumento del 40% en la resistencia a la compresión del concreto. La conclusión fue que el mucílago de nopal mejora la cohesión y minimiza las fisuras, incrementando la resistencia del concreto.

3.1.2. A nivel nacional

Soto (2023) en su trabajo titulado “Efectos de la adición de mucílago de nopal en las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional $f'_c=210$ kg/cm² con fines de pavimento rígido, Ayacucho, 2022”, tuvo como objetivo evaluar el impacto de la incorporación de mucílago de nopal en proporciones del 1%, 1.5% y 2% sobre las

propiedades físico-mecánicas del concreto. Se planteó la hipótesis de que esta adición mejoraría las características del concreto, permitiendo reducir el espesor del pavimento rígido en vías de mediano tránsito. La metodología fue de tipo aplicado con nivel explicativo correlacional y un diseño experimental-cuasiexperimental. Los resultados mostraron que el uso de 2% de mucílago de nopal optimizó las propiedades del concreto, alcanzando una resistencia a la compresión de 445.3 kg/cm², un resultado de 2 pulgadas en la prueba de slump, un desgaste del 12% y una resistencia a la flexión de 55.27 kg/cm². Además, se logró un espesor optimizado de pavimento de 28.5 cm, un 21% menos que el diseño convencional. En conclusión, la adición de mucílago de nopal mejora significativamente las propiedades del concreto para su uso en pavimentos rígidos.

Pariona (2023), en su investigación “Influencia que tiene el uso del mucílago de nopal macerado en las propiedades mecánicas del concreto en pavimento rígido, Ayacucho, 2023”, buscó establecer el efecto del gel de cactus macerado en las propiedades mecánicas del concreto para pavimentos rígidos. La hipótesis planteada sobre el mucílago de nopal fue que mejoraría la resistencia del concreto. La metodología empleada fue cuantitativa aplicada cuasi-experimental. Se realizaron pruebas con cemento Portland Tipo I y una resistencia esperada de $F'c=280\text{kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días, con adiciones de 3.5%, 5.5% y 7.5% de mucílago de penca de tuna blanca y anaranjada. Los resultados mostraron mayor resistencia a compresión con el mucílago de nopal blanco al 3.5% (493.20kg/cm²) y con el nopal anaranjado (454.80kg/cm²). En cuanto a la flexión, la mayor resistencia se alcanzó con el 5.5% de mucílago, siendo $Mr=75.4\text{kg/cm}^2$ para el nopal blanco y $Mr=70.5\text{kg/cm}^2$ para el anaranjado. Concluyó que el mucílago de nopal macerado mejora las propiedades del concreto endurecidos para pavimento rígido.

Castro (2022), en su trabajo titulado “Influencia del mucílago de nopal en la evaluación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, San Juan de Miraflores 2022”, la finalidad fue

analizar cómo influye el mucílago de nopal en las propiedades del concreto. La hipótesis planteada fue que adicionar mucílago de nopal mejoraría tanto la consistencia como la resistencia del concreto. Se diseñó un estudio experimental cuasi-experimental de enfoque cuantitativo, realizando pruebas de consistencia, resistencia a la compresión y flexión con adiciones de mucílago de nopal de 1.5%, 2.5% y 4.5%. Sus resultados expusieron que el concreto elevó su consistencia 3" a 3 3/4" al utilizar el 1.5% de mucílago. Sin embargo, la resistencia a la compresión se redujo de 301.5 kg/cm² a 285.4 kg/cm² con la adición de 1.5%, y a 274.5 kg/cm² con 4.5%. La resistencia a la flexión también mostró una reducción, bajando de 37.9 kg/cm² a 36.9 kg/cm² con 1.5% de mucílago y a 35.5 kg/cm² con 4.5%. En conclusión, la resistencia del concreto no se incrementó a pesar de adicionar mucílago de nopal, sólo se lograron mejoras en su consistencia, haciéndolo más trabajable.

Bañez y Veramendi (2021), en su investigación cuantitativa experimental "Influencia en el ensayo a compresión del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ adicionando mucílago de penca de tuna y superplastificante Sika, Huaraz-Ancash-2021", tuvieron como objetivo comparar la capacidad de compresión del concreto con una resistencia de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ al agregar 1%, 3% y 6% de gel de cactus y superplastificante Sika N290 en proporciones de 1%, 1.5% y 2%. La metodología aplicada fue correlacional-causal. Se empleó mucílago de cactus extraído de forma acuosa, triturado, y se realizaron ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión después de 1, 2 y 4 semanas. Lo que obtuvieron fue que adicionar mucílago de cactus y superplastificante incrementó la resistencia del concreto, aunque la combinación de 3% y 6% de mucílago con 1.5% y 2% de superplastificante disminuyó la manejabilidad del concreto.

Cueva (2021), en su investigación "Análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión y consistencia del concreto estructural con aditivos naturales en Trujillo", analizó comparativamente el desempeño del concreto estructural al incorporar diversas

proporciones de aditivos naturales. El estudio se realizó con un enfoque descriptivo transversal y no experimental, utilizando una matriz para la recopilación de datos de 30 investigaciones relevantes, que incluían artículos científicos y tesis. Los resultados mostraron que al agregar gel de cactus en un 2.0%, Aloe Vera en un 2.0%, fibra de coco en un 1.5% y ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en un 5.0%, se logró resistencias a la compresión de 29.20, 35.50, 21.25 y 23.70 MPa, respectivamente, después de 28 días. Además, se logró una buena trabajabilidad y un nivel plástico en el concreto fresco con 5.00% de gel de cactus, 5.00% de CBCA, 2.00% de Aloe Vera y 1.00% de fibra de coco. Se concluyó que adicionar materia natural genera una mínima variación en los costos de producción del concreto.

Huerta (2020), en su investigación cuantitativa experimental “Uso del extracto del mucílago del cactus como aditivo y su influencia en la consistencia y en la resistencia a la compresión del concreto”, tuvo como objetivo evaluar el efecto del extracto de gel de cactus en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto. La hipótesis planteaba que la incorporación del aditivo mejoraría dichas propiedades. La metodología fue de aplicada-correlacional, utilizando 96 muestras y evaluando según las NTP correspondientes. Los resultados mostraron que, con concentraciones de gel de cactus del 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.0%, se logró una mejora en la consistencia, siendo más notable a partir del 0.75%, aunque inferior a las muestras de referencia. La T de Student para muestras emparejadas indicó que las concentraciones más altas mejoraron significativamente la fluidez y la resistencia a la compresión. En 28 días, las muestras con gel de cactus superaron a las de referencia, mostrando la relación directa de la resistencia y la concentración del aditivo. En conclusión, el uso del extracto de gel de cactus como aditivo optimiza el concreto en lo que respecta a su consistencia como su resistencia a la compresión.

Inga (2019) en su investigación “Influencia de la adición de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-índica*) en las propiedades mecánicas del concreto permeable”, analizó el impacto de incorporar gel de cactus en las características mecánicas del concreto permeable. Su fin fue determinar cómo la adición de mucílago afecta estas propiedades. Se diseñaron cuatro fórmulas de mezcla con una relación agua/cemento de 0.35, contenido de vacíos del 16.30%, agregado fino del 10%, relación b/bo de 0.93 y volumen de pasta del 24.5%. Las mezclas incluyeron una mezcla base (Tipo I) y tres mezclas con 1% (Tipo II), 3% (Tipo III) y 5% (Tipo IV) de gel de cactus en peso de cemento. Los resultados mostraron que la Mezcla Tipo II, con 1% de gel, alcanzó una resistencia a la compresión de 229.55 kg/cm² y una resistencia a la tracción por compresión diametral de 20.82 kg/cm², además de una permeabilidad de 0.66 cm/s. Aunque la incorporación de gel de cactus optimiza la resistencia a la compresión, se redujo la resistencia a la tracción y la permeabilidad en comparación con la mezcla base. En conclusión, el uso de mucílago de nopal mejora la resistencia a la compresión del concreto permeable, aunque conlleva ciertas limitaciones en otras propiedades mecánicas.

3.1.3. A nivel regional y local

Valverde (2023), en su tesis “Determinación de la resistencia a compresión axial del concreto estructural $f'_c=210$ kg/cm² integrando a la mezcla como aditivo natural el mucílago de penca de tuna en la ciudad de Abancay, 2022”, investigó el uso del gel de cactus como aditivo natural en la mezcla de concreto, evaluando dosis de 1.5%, 2%, 2.5% y 3%. El objetivo fue identificar el porcentaje óptimo de aditivo y su impacto en el asentamiento del concreto. Se prepararon 45 probetas para realizar ensayos mecánicos a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos en el laboratorio mostraron que la adición de gel de cactus contribuye a mantener los áridos, tanto gruesos como finos, en su posición, evitando su desplazamiento por gravedad. Ello ayuda a elevar la resistencia a la compresión axial del

concreto. Aunque los valores específicos de resistencia no se mencionan en el resumen, se concluye que el mucílago de penca de tuna mejora significativamente la estabilidad y resistencia del concreto estructural.

Ayquipa (2021) en su investigación “Influencia de los métodos de curados con mucílago naturales en la resistencia a la compresión del concreto $f_c=210$ kg/cm² en Abancay, 2019”, analizó el impacto de diferentes métodos de curado utilizando geles naturales en la resistencia a la compresión del concreto. La tesis se enfocó en comparar las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días, utilizando gel de cactus como parte de los métodos de curado. Lo encontrado expone un aumento significativo en la resistencia a la compresión a los 28 días: un 8.18% con el método de aspersión, un 27.00% con el de inmersión y un 13.32% con el de membrana, en contraste al de curado convencional con agua. La conclusión más destacada fue que el método de inmersión con gel de cactus mostró el mejor desempeño, alcanzando una mejora del 44.06% en la resistencia a la compresión del concreto, evidenciando así que el gel de cactus optimiza las características mecánicas del concreto.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Mucilago de cactáceas

El mucílago de cactáceas es una sustancia gelatinosa y viscosa que se encuentra en varias especies de cactus. Se produce en las partes verdes y carnosas de la planta, como las hojas o el tallo. Este mucílago tiene varias funciones para la planta, incluyendo la retención de agua, la protección contra la deshidratación y la captura de nutrientes (Luna-Zapién et al., 2023).

El mucílago tiene propiedades viscosas debido a la presencia de polisacáridos y otras sustancias orgánicas. Cuando se combina con agua, forma una solución pegajosa que puede tener aplicaciones en diversos campos.

El mucílago de cactáceas podría ser considerado como un aditivo para el concreto. Su capacidad para retener agua y proporcionar propiedades adhesivas podría influir en las características del concreto, como su resistencia y durabilidad (Huerta, 2020).

3.2.2. *Cactáceas.*

Las cactáceas son una familia de plantas suculentas que pertenecen al orden Caryophyllales. Son conocidas por sus adaptaciones a entornos áridos y secos, como los desiertos, y se caracterizan por su capacidad para almacenar agua en sus tejidos.

La clasificación taxonómica de las cactáceas es (Espino et al., 2012):

Reino: Plantae

Clase: Eudicotyledoneae

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Algunas características distintivas de las cactáceas incluyen:

- a) Tallo: La mayoría de las cactáceas tienen tallos carnosos y suculentos que les permiten almacenar grandes cantidades de agua. Estos tallos también realizan la fotosíntesis.
- b) Areolas: Son pequeñas protuberancias en el tallo de las cactáceas de donde surgen las espinas, hojas modificadas y, a veces, flores.
- c) Espinas: Las espinas son estructuras modificadas que se originan en las areolas. Tienen diversas funciones, como protección contra herbívoros y regulación de la temperatura.
- d) Flores: Las cactáceas producen flores a menudo grandes y coloridas. Estas flores son adaptaciones para atraer polinizadores.
- e) Raíces Superficiales: Muchas cactáceas tienen sistemas de raíces poco profundos pero muy extendidos que les permiten absorber agua de lluvias breves y dispersas.

- f) **Adaptaciones a la Sequía:** Las cactáceas han desarrollado diversas estrategias para sobrevivir en entornos áridos, como la apertura de las estomas de noche para reducir la pérdida de agua y la capacidad de realizar fotosíntesis CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas).

3.2.3. *Cactus de San Pedro.*

Es una especie específica de cactus conocida científicamente como *Echinopsis pachanoi*. Este cactus es nativo de los Andes en América del Sur, incluyendo regiones de Ecuador, Perú y Colombia.

La clasificación taxonómica del cactus de San Pedro es (Espino et al., 2012):

División: Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase: Liliopsida (Monocotiledóneas)

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae (Cactáceas)

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Trichocereae

Género: *Echinopsis*

Especie: *Echinopsis pachanoi*

Algunas de sus características físicas son que presenta tallos verdes y columnares que pueden alcanzar alturas considerables que superan los 3 metros. Además, tiene numerosas costillas a lo largo del tallo, con agrupaciones de espinas en las areolas.

3.2.4. *Tuna.*

La tuna, es la fruta de un tipo específico de cactus, que a menudo es una especie de *Opuntia*. Además, es la fruta que crece en el cactus de nopal, y viene en una variedad de colores, como rojo, amarillo y verde, dependiendo de la madurez. Se consume como una

fruta jugosa y dulce. Cabe aclarar que el nopal se refiere a la planta en sí, mientras que la tuna se refiere a la fruta que crece en esa planta de nopal.

Las clasificaciones biológicas se basan en el sistema taxonómico, que en el caso de la tuna es (Espino et al., 2012):

Reino: Plantae

Filo: Angiospermae

Clase: Eudicotyledoneae

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Género: Opuntia

Especie: Opuntia ficus

3.2.5. Propiedades del mucílago como aditivo del concreto.

Se define el mucílago de la penca de tuna como el biopolímero coagulante que se utiliza para impermeabilizar, tapar poros o resanar (Díaz-Blanco et al., 2019).

En la construcción, a veces se utiliza como aditivo al mezclar el concreto para optimar ciertas características, como la trabajabilidad y la retención de agua. Un ejemplo de cómo se pueden explorar recursos naturales para desarrollar materiales de construcción más sostenibles y ecológicos es la penca de tuna en forma de mucílago.

Por lo general, en el caso de los cementos, se le agregan minerales que son básicamente cal activada, pero hemos visto que merman la calidad del cemento en cuanto a propiedades mecánicas y físicas. Aunque se utilizan menos concretos en las construcciones, resulta que son más porosos y menos resistentes a elementos como los cloruros o las condiciones ambientales de las ciudades o zonas industriales, lo que genera más gastos en reparaciones con el consecuente aumento en la emisión de CO₂ al medio ambiente (Torres, 2017).

Después de diferentes pruebas de laboratorio, los investigadores del IMT y la Universidad Marista de Querétaro concluyeron que las adiciones del mucílago de nopal mejoraron la durabilidad del mortero al disminuir el transporte de agua dentro del material y aumentaron su resistencia. Además, la mejora de la durabilidad del concreto se da en materiales base cemento cuando se añade el nopal en forma coloide (mucílago) (Díaz-Blanco et al., 2019).

3.2.6. *Mucilago de cactus de San Pedro.*

El mucílago de cactus, incluyendo el cactus de San Pedro (*Echinopsis pachanoi*), se refiere a una sustancia gelatinosa y viscosa que se encuentra dentro de los tejidos de estos cactus. Este mucílago cumple diversas funciones en la planta, como almacenar agua y nutrientes, así como ayudar en la regulación de la temperatura.

En el contexto de la construcción, Huerta (2020) manifiesta que su inclusión como aditivo en dosificaciones de 0.5% y 1.0% pueden mejorar la consistencia del concreto, asimismo, se incrementa la resistencia a la compresión.

3.2.7. *Mucilago de penca de tuna.*

Se puede describir al mucílago de penca de tuna como una sustancia gelatinosa y viscosa que se encuentra en el interior de las pencas (hojas) de la planta de tuna, que es un tipo de cactus. Esta sustancia se utiliza a menudo en aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y cosméticas debido a sus propiedades espesantes y gelificantes (Torres, 2017).

3.2.8. *Resistencia a la compresión*

Esta resistencia es la habilidad del concreto para soportar fuerzas aplicadas en direcciones opuestas, comprimiéndolo a lo largo de su eje. En el contexto del concreto, se mide sometiendo la muestra cilíndrica a una fuerza de compresión axial en condiciones controladas (Quiliche y Cachi Cerna, 2020).

Esta resistencia se mide en términos de presión, comúnmente en kg/cm^2 o en Pa, y representa la máxima fuerza que el concreto puede soportar antes de colapsar o romperse. Es un indicador clave de la calidad y capacidad de carga del concreto en aplicaciones estructurales (Matallana, 2017).

3.2.9. El concreto.

El concreto está compuesto por cemento, agua y agregado fino y grueso, que se mezclan en medidas específicas para alcanzar una resistencia determinada (Porrero et al., 2014). Asimismo, se pueden añadir aditivos. La calidad del concreto generalmente depende de los materiales utilizados en su fabricación, así como del proceso de elaboración, mezclado, transporte y vertido, los cuales influyen considerablemente en su calidad. Aunque la normativa lo considera como un componente opcional, en las construcciones modernas, los aditivos se han convertido en elementos esenciales para la fabricación de cemento (Vásquez, 2011).

El concreto es un material de construcción compuesto por una mezcla de cemento, agua, agregados (finos y gruesos) y, en ocasiones, aditivos químicos. Al mezclar estos componentes, se forma una pasta que, al endurecerse, adquiere una resistencia y durabilidad significativas (McCormac y Brown, 2016). Este material es ampliamente utilizado en la construcción de estructuras, como edificios, puentes y pavimentos, debido a su capacidad para soportar cargas y su versatilidad en aplicaciones diversas.

3.2.10. Componentes del concreto.

El concreto es un material de construcción fundamental en la ingeniería civil, utilizado en una variedad de estructuras gracias a su versatilidad y resistencia. Su composición se basa en una mezcla homogénea de diferentes elementos que, al combinarse, generan propiedades mecánicas y físicas adecuadas para su uso (Porrero et al., 2014). En este contexto, es esencial comprender los componentes que conforman el concreto, los

cuales incluyen cemento, agregados, aditivos y agua. Cada uno de estos elementos desempeña una función clave en la determinación de la calidad, durabilidad y desempeño del concreto en varias aplicaciones, desde pavimentos hasta estructuras arquitectónicas (McCormac y Brown, 2016; Nilson y Darwin, 1997). A continuación, se analizará cada uno de estos componentes, su función y su impacto en las características finales del concreto.

3.2.11. Cemento.

El cemento es un aglomerante hidráulico que se obtiene de la mezcla de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, que se calcinan a altas temperaturas y luego se muelen hasta obtener un polvo fino (McCormac y Brown, 2016). Este material es un componente fundamental en la fabricación de concreto, ya que, al mezclarse con agua, inicia una reacción química que provoca su endurecimiento y desarrollo de resistencia a lo largo del tiempo.

a) Propiedades del cemento

Las propiedades del cemento son características físicas y químicas que influyen en su rendimiento y en el comportamiento del concreto (McCormac y Brown, 2016). Entre las más relevantes se incluyen:

- **Resistencia:** Capacidad para soportar cargas sin fallar, medida en términos de resistencia a la compresión.
- **Durabilidad:** Resistencia del cemento a la acción de agentes ambientales, como humedad, temperatura y productos químicos.
- **Tiempo de fraguado:** Periodo que tarda el cemento en pasar de un estado líquido a sólido, lo cual afecta el tiempo de trabajo en la construcción.
- **Fineness (finura):** Tamaño de las partículas de cemento; una mayor finura puede mejorar la reactividad y la resistencia inicial.
- **Consistencia:** Capacidad del cemento para mantener su forma y cohesión bajo diferentes condiciones de trabajo.

b) Función del cemento en el concreto

La función del cemento en el concreto es actuar como el aglomerante que une los agregados (fino y grueso) y proporciona cohesión y resistencia a la mezcla. Al combinarse con agua, el cemento forma una pasta que envuelve y adhiere los agregados, permitiendo que el concreto adquiera su estructura sólida y resistente. Además, el cemento contribuye a la resistencia a la compresión del concreto, lo que es esencial para soportar cargas en diversas aplicaciones estructurales. Sin el cemento, el concreto no tendría la cohesión necesaria para mantener su integridad y funcionalidad en el tiempo (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014).

3.2.12. Agregados.

Los agregados son materiales granulares que se combinan con el cemento y el agua para formar concreto. Estos pueden ser naturales o artificiales y se dividen en dos categorías principales: agregados finos (como arena) y agregados gruesos (como grava o piedra triturada). Los agregados constituyen aproximadamente el 60% al 80% del volumen total del concreto, por lo que desempeñan un papel crucial en la determinación de las propiedades y el comportamiento del concreto (INDECOPI, 2018).

a) Clasificación

Los agregados se clasifican según diferentes criterios (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014):

- Por tamaño:

Agregados finos: Partículas que pasan por el tamiz de 4.75 mm (como arena).

Agregados gruesos: Partículas que no pasan por el tamiz de 4.75 mm (como grava o piedra triturada).

- Por origen:

Naturales: Extracción de canteras o ríos, como arena y grava.

Artificiales: Producidos por procesos industriales, como la escoria o los agregados reciclados.

- Por forma:

Redondeados: Tienen formas más suaves y lisas (por ejemplo, grava).

Angulares: Tienen bordes afilados (por ejemplo, piedra triturada).

b) Propiedades de los agregados

Estas propiedades son esenciales para garantizar la calidad del concreto y su rendimiento (Porrero et al., 2014). Algunas propiedades importantes son:

- Granulometría: Distribución del tamaño de las partículas; afecta la densidad y la trabajabilidad del concreto.
- Densidad: Peso por unidad de volumen, influye en el peso total del concreto
- Absorción de agua: Capacidad de los agregados para absorber agua, lo que puede afectar la relación agua-cemento.
- Resistencia: Capacidad de los agregados para soportar cargas sin fallar; se relaciona con la resistencia final del concreto.
- Limpieza: Ausencia de impurezas, como tierra o materia orgánica, que pueden debilitar la mezcla.
- Resistencia a la abrasión: Es la capacidad para resistir al desgaste o la erosión provocados por el roce o fricción con otros materiales. Se mide con ensayos estandarizados método de Los Ángeles, que evalúa la pérdida de masa de los agregados tras ser sometidos a un proceso de abrasión.

3.2.13. Aditivos.

Los aditivos son sustancias químicas que se agregan al concreto en pequeñas cantidades para modificar sus propiedades y mejorar su rendimiento. Se utilizan para optimizar la mezcla, mejorar la trabajabilidad, acelerar o retardar el fraguado y aumentar la

durabilidad. La incorporación de aditivos permite ajustar las características del concreto según las necesidades específicas del proyecto y las condiciones ambientales (McCormac y Brown, 2016).

a) Funciones del aditivo en el concreto

Los aditivos desempeñan diversas funciones que mejoran el rendimiento del concreto, según McCormac y Brown (2016), cumple funciones tales como:

- Mejorar la trabajabilidad: Facilitan el manejo y colocación del concreto, especialmente en condiciones difíciles.
- Ajustar el tiempo de fraguado: Permiten un control más preciso sobre el tiempo en que el concreto comienza a endurecerse, lo cual es fundamental para la logística de la construcción.
- Incrementar la resistencia: Aumentan la resistencia a compresión, tracción y flexión, contribuyendo a la durabilidad y longevidad del concreto.
- Proteger contra condiciones ambientales: Ayudan a mitigar los efectos negativos de la humedad, el frío y otros factores ambientales, prolongando la vida útil del concreto.

b) Efectos de los aditivos en la resistencia y trabajabilidad

Los aditivos tienen un impacto significativo en la resistencia y trabajabilidad del concreto:

- Resistencia: La adición de aditivos reductores de agua puede resultar en un concreto de mayor resistencia al permitir una reducción en la relación agua-cemento. Por otro lado, los aditivos aceleradores pueden facilitar un rápido desarrollo de la resistencia inicial, lo que es crucial para proyectos que requieren una rápida carga.
- Trabajabilidad: Aditivos como plastificantes y superplastificantes mejoran la fluidez del concreto, lo que facilita su colocación y reduce la necesidad de vibración,

ahorrando tiempo y esfuerzo. Esto es especialmente beneficioso en mezclas con altos contenidos de agregado o en condiciones de trabajo difíciles.

3.2.14. Agua.

El agua es uno de los componentes esenciales en la mezcla de concreto, ya que es el medio en el que se produce la hidratación del cemento. Esta hidratación es un proceso químico fundamental que permite que el concreto adquiera su resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014). La calidad y cantidad de agua utilizada en la mezcla son determinantes para obtener un concreto de alto rendimiento.

a) Importancia del agua en la mezcla de concreto

El agua desempeña varias funciones cruciales en la mezcla de concreto (Porrero et al., 2014):

- **Hidratación del cemento:** Sin agua, el cemento no puede hidratarse, lo que impide el desarrollo de la resistencia y la cohesión del concreto. La hidratación transforma el cemento en una masa sólida y resistente, que es la base del concreto.
- **Trabajabilidad:** El agua mejora la trabajabilidad del concreto, facilitando su mezcla, transporte y colocación. Un concreto bien hidratado es más fácil de moldear y manipular.
- **Control de la temperatura:** El agua ayuda a regular la temperatura del concreto durante el proceso de fraguado, evitando que se produzcan fisuras o fallas debido a un enfriamiento o calentamiento excesivo.
- **Durabilidad:** La cantidad y calidad del agua utilizada afectan la durabilidad del concreto. El agua limpia y potable es esencial para evitar la introducción de impurezas que puedan debilitar la mezcla.

b) Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (a/c) es un factor crítico en la calidad del concreto. La relación agua/cemento es la relación de agua con respecto a la cantidad de cemento en la mezcla. Se expresa como un número decimal o una proporción, donde una relación más baja indica menos agua en comparación con el cemento (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014).

- Efecto en la resistencia: Una relación agua/cemento baja (por ejemplo, 0.40) generalmente produce un concreto más resistente y duradero, ya que hay menos agua para debilitar la estructura del concreto. Sin embargo, una relación demasiado baja puede comprometer la trabajabilidad.
- Efecto en la trabajabilidad: Una relación agua/cemento alto (por ejemplo, 0.60) mejora la trabajabilidad, pero puede resultar en un concreto menos resistente y más permeable. Es crucial encontrar un equilibrio entre la trabajabilidad y la resistencia.

3.2.14.1. Propiedades físicas y mecánicas del concreto

Las características físicas del concreto se refieren a los atributos que se pueden identificar directamente a través de observación o medidas sencillas. Estas son propias de la mezcla de concreto y su evaluación no altera la estructura del mismo (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014). De otra parte, las propiedades mecánicas del concreto están vinculadas al comportamiento del concreto una vez endurecido, y permiten entender sus diferentes capacidades de resistencia. Estas propiedades dependen del diseño de mezcla, que a su vez sirve como un parámetro para el diseño estructural (Pasquel, 1998)

3.2.15. Propiedades del concreto en estado fresco.

Los indicadores considerados son el Slump, densidad y exudación.

a) El asentamiento

El Slump es una medida específica que se refiere a la deformación vertical de las muestras de concreto fresco cuando se somete al ensayo del cono de Abrams. El slump es

una medición cuantitativa de la fluidez del concreto y generalmente se expresa en centímetros o pulgadas. Se utiliza principalmente para evaluar la consistencia del concreto en términos de su capacidad para fluir y autonivelarse (Orozco et al., 2018)

b) Peso unitario

En estado fresco, el peso unitario del concreto es un parámetro fundamental que se define como la masa del concreto por unidad de volumen, generalmente expresada en kg/m^3 o lb/ft^3 ; según la NTP 339.084, debe estar dentro de un rango específico para garantizar su calidad. Por ejemplo, para concreto estructural, se recomienda que el peso unitario esté entre 2200 kg/m^3 y 2500 kg/m^3 . Este parámetro es crucial para asegurar la adecuada densidad y resistencia del concreto, así como para determinar la cantidad de material necesaria para una determinada aplicación (Matallana, 2017).

c) La exudación

En el concreto, la exudación es el proceso mediante el que el agua segregada en la mezcla se acumula en la superficie durante o después del proceso de colocación. Controlar la exudación es crucial ya que puede generar efectos negativos a la resistencia y durabilidad del concreto, lo que potencialmente compromete su integridad estructural. La exudación excesiva puede dar lugar a una menor resistencia de la superficie y una mayor porosidad, lo que podría debilitar la estructura en general. El manejo adecuado de la exudación es esencial para garantizar la alta calidad del concreto y sea duradero en diversas aplicaciones de construcción (Canchanya, 2021)

3.2.16. Propiedades del concreto en estado endurecido.

Son aquellas cualidades que se utilizan en el sector constructivo, tales como la durabilidad y resistencia, así como la estabilidad volumétrica. En términos generales, la resistencia es la característica más crucial, ya que tiene un impacto significativo en las demás propiedades (Carrillo et al., 2013)

a) Resistencia a la compresión

Esta es una característica más fundamental del concreto y de otros materiales de construcción. Hace referencia a la habilidad del material para soportar fuerzas que intentan comprimirlo o aplastarlo, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras.

Se define como la mayor fuerza o carga que un material puede resistir por unidad de superficie antes de que ocurra una falla por compresión. Esta magnitud se mide comúnmente a través de ensayos estándar utilizando probetas cilíndricas o cúbicas que se comprimen en una prensa hasta que fallan (CEMEX Perú, 2019)

La evaluación de la resistencia a la compresión en el estudio mencionado se efectuará calculando la resistencia característica del concreto (f'_c) utilizando muestras cilíndricas. Para la preparación de dichas muestras, se vertirá el concreto en tres etapas, llenando cada segmento hasta un tercio de su capacidad y aplicando 25 varillazos con una barra de media pulgada de diámetro en cada capa. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su análisis después de un periodo de curado de 28 días (Matallana, 2017).

La evaluación de la resistencia a la compresión en el estudio mencionado se efectuó calculando la resistencia característica del concreto (f'_c) utilizando muestras cilíndricas. Para la preparación de dichas muestras, se vertió el concreto en tres etapas, llenando cada segmento hasta un tercio de su capacidad y aplicando 25 varillazos con una barra de media pulgada de diámetro en cada capa. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su análisis después de un periodo de curado de 28 días (Carrillo et al., 2013).

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más fundamentales del concreto y tiene varias implicaciones significativas en la ingeniería y la construcción (McCormac y Brown, 2016; Porrero et al., 2014). En consecuencia, es importante por las siguientes razones:

- **Estructural:** La resistencia a la compresión determina la capacidad del concreto para soportar cargas. Edificios, puentes y otras estructuras deben ser diseñados considerando esta propiedad para garantizar su estabilidad y seguridad.
- **Durabilidad:** Un concreto con alta resistencia a la compresión tiende a ser más duradero y resistente al desgaste, la erosión y la fatiga, lo que prolonga la vida útil de la estructura.
- **Seguridad:** Asegurar que el concreto cumpla con los estándares de resistencia a la compresión es esencial para prevenir fallas estructurales. La resistencia insuficiente puede llevar a colapsos, comprometiendo la seguridad de los ocupantes y usuarios.
- **Costos:** Al seleccionar un concreto con la resistencia adecuada, se pueden optimizar los costos de material y construcción. Un exceso en la resistencia puede resultar en un aumento innecesario de costos, mientras que una insuficiencia puede llevar a costosas reparaciones o refuerzos.
- **Cálculos Estructurales:** La resistencia a la compresión se utiliza en cálculos para determinar el tamaño y el diseño de elementos estructurales, permitiendo un uso eficiente de materiales y un diseño seguro.
- **Regulaciones:** La mayoría de las normativas y códigos de construcción establecen requisitos mínimos de resistencia a la compresión que deben cumplirse, asegurando un nivel básico de seguridad y calidad en las construcciones.

3.3. Definición de términos

a) Análisis físico y mecánico

Este proceso implica la medición y evaluación de las características físicas (como densidad, porosidad) y mecánicas (resistencia, elasticidad) del concreto por medio de pruebas de laboratorio y análisis científicos.

b) Carga de ruptura

Es la máxima fuerza que un espécimen de concreto puede soportar antes de que se fracture o rompa. Es un indicador importante de la capacidad de carga del concreto.

c) Concreto estructural

Es la mezcla homogénea hecha con cemento, agregados (fino y grueso), agua y aditivos. Se utiliza para la construcción de elementos que soportan cargas significativas, como columnas, vigas y losas en edificaciones.

d) Durabilidad

Hace referencia a la capacidad del concreto para mantener sus propiedades a lo largo del tiempo y resistir los efectos adversos del ambiente, como la humedad, la abrasión o los ciclos de congelación y descongelación.

e) Eco-ligereza

Se refiere a la incorporación de materiales naturales o sostenibles en el concreto para reducir su peso, lo que puede hacer que sea más eficiente desde una perspectiva ambiental.

f) Ensayos de laboratorio

Estos ensayos son pruebas sistemáticas realizadas en un ambiente controlado, como un laboratorio, para evaluar propiedades específicas del concreto. Los resultados de los ensayos proporcionan datos cuantitativos que respaldan la investigación y permiten tomar decisiones fundamentadas en la formulación de mezclas y en el comportamiento del concreto.

g) Mezcla de referencia

Es una composición estándar de concreto utilizada como punto de comparación en experimentos. Se usa para evaluar cómo las modificaciones o incorporación de aditivos afectan las propiedades del concreto.

h) Mezcla de concreto

Se compone de varios ingredientes, incluyendo cemento Portland, agregados (arena y grava), agua y aditivos. La proporción precisa de estos componentes determina las características del concreto.

i) Mucílago de penca de tuna

El gel es una sustancia pegajosa obtenida de las hojas de la planta de tuna, un tipo de cactus. Se evalúa como un posible aditivo para el concreto debido a sus características únicas que podrían mejorar la mezcla y el comportamiento del concreto.

j) Propiedades Térmicas del Concreto

Estas propiedades incluyen la capacidad del concreto para resistir cambios de temperatura y su habilidad para conducir o aislar el calor. Son relevantes en aplicaciones donde se requiere control térmico, como en edificios sostenibles.

k) Resistencia a la compresión axial

Esta característica evalúa la característica del concreto para resistir cargas que intentan comprimirlo a lo largo de una dirección específica. Es crucial en la construcción, ya que define la capacidad de carga de las estructuras.

l) Resistencia mecánica

La resistencia mecánica se refiere a la capacidad del concreto para resistir cargas sin romperse o deformarse de manera significativa. Son indicadores de calidad del concreto.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación corresponde al tipo aplicada porque su propósito es contribuir a la solución de problemas prácticos en un contexto específico (Hadi et al., 2023). En este caso, se investigó la influencia de la incorporación de mucílago de cactáceas en la mezcla de concreto estructural y su impacto en la resistencia a la compresión del concreto. Los resultados de esta investigación tienen una aplicación directa en la industria de la construcción, ya que su incorporación influye en la formulación de nuevas mezclas de concreto o en la optimización de las existentes.

El nivel es explicativo, debido a que busca comprender y explicar las relaciones causales o los factores que influyen en el resultado de la investigación (Ñaupas et al., 2018). En este contexto, se detalla cómo la adición de gel de cactus en la mezcla de concreto afecta la resistencia a la compresión axial del material. El diseño de la investigación es experimental, empleando grupos de comparación (Hadi et al., 2023) que utilizan diversas proporciones de gel de cactus en la mezcla de concreto. Los ensayos se realizaron en laboratorio para valorar la resistencia del concreto estructural. El método de investigación fue el hipotético deductivo; ya que, en este enfoque, se parte de una hipótesis que es sometida a prueba experimental. Luego, se recopilaron datos y se realizan análisis para comprobar o refutar la hipótesis.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Espacial

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Andahuaylas, ubicada en la región de Apurímac, Perú. Se seleccionaron sitios específicos donde se realizaron los ensayos y recolección de datos según disponibilidad de laboratorios.

4.2.2. Temporal

La investigación se llevó a cabo durante el año 2023. Este marco de tiempo permitió la recolección de datos, análisis y presentación de resultados.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población consiste en diversos elementos que forman parte de la investigación y están directamente relacionados con el área de estudio (Hernández y Mendoza, 2023), en este caso fueron las 63 briquetas destinadas a ensayos de compresión.

4.3.2. Muestra

La muestra fue no probabilística y de manera censal, es decir, la población fue la muestra de estudio (Hernández y Mendoza, 2023). Por lo que, se utilizaron las 63 briquetas para las pruebas de compresión y 63 unidades para los ensayos en estado fresco:

Tabla 2

Tamaño de muestra de briquetas de concreto $f'c = 210\text{Kg}/\text{cm}^2$

Ensayos		Resistencia a la compresión		Slump	Densidad	Exudación
Concreto patrón	0.00%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de cactus de San Pedro	0.75%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de cactus de San Pedro	1.00%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de cactus de San Pedro	1.25%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de cactus de San Pedro	1.50%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de penca de tuna	2.00%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Mucilago de penca de tuna	2.50%	7	3	3	3	3
		14	3			
		28	3			
Sub total		63		21	21	21

4.3.3. Muestreo

El muestreo se refiere a la selección de una porción de la población para su posterior análisis e inferencia, no obstante en caso de que se emplee como muestra a toda la población esta se denomina muestra censal y este procedimiento no es probabilístico (Hernández y Mendoza, 2023).

A nivel técnico, la selección de la muestra se realizó considerando que el diseño de mezcla se hizo específicamente para preparar la cantidad de testigos por cada muestra, entonces el muestreo fue de tipo censal. Además, el muestreo se realizó teniendo en cuenta la NTP 339.036 (2017) para las muestras en estado fresco y la NTP 339.183 (2013) para la elaboración y curado de los testigos de concreto, los cuales tuvieron 15cm de diámetro y 30cm de altura. Asimismo, la Norma E-060 (2019) establece que se deben emplear 3 testigos para cada ensayo, teniendo en cuenta que son 7 muestras distintas (patrón, con 0.75%, 1.00% y 1.25% de mucilago de cactus de San Pedro y con 1.50%, 2.00% y 2.50% de mucilago de penca de tuna) que serán evaluadas a tres edades distintas (7, 14 y 28 días) se tiene un total de 63 testigos. De la misma forma, para los ensayos en estado fresco se emplearon 3 unidades para el Slump, la densidad y la exudación, entonces en una muestra se tienen 9 unidades, por lo que para las 7 muestras da un total de 63 unidades.

4.4. Instrumentos

a) Técnica de investigación

La técnica seleccionada para este estudio es la observación, que se basa en la recopilación sistemática de datos mediante la observación directa de fenómenos y procesos en un entorno controlado. Según Tamayo y Silva (2022), esta técnica permite obtener información valiosa y objetiva sobre el comportamiento de las variables bajo estudio. En el contexto de este estudio, se utilizó la observación para llevar a cabo ensayos mecánicos del concreto, evaluando las propiedades del material tras la adición de mucílago de cactáceas.

El proceso de observación se dividió en varias etapas, comenzando con la preparación del material. En esta fase, se seleccionaron muestras de concreto y se prepararon con diferentes concentraciones de mucílago para realizar los ensayos. Durante la ejecución de los mismos, se realizó una observación meticulosa de las propiedades del concreto, como la trabajabilidad, peso unitario, exudación, resistencia a la abrasión y a la compresión. La recopilación de datos relevantes fue registrada cuidadosamente, lo que permitió una evaluación precisa del comportamiento del concreto bajo condiciones controladas. La combinación de la técnica de observación y un enfoque sistemático garantizó la obtención de datos confiables y representativos del efecto del mucílago en las propiedades del concreto.

Otra técnica, fue la revisión documental, que implica el análisis de literatura existente sobre el tema de estudio. Se recopilaron y revisaron fuentes como artículos científicos, tesis y normativas técnicas relacionadas con el uso de mucílago en la mejora de concreto. Este instrumento fue esencial para contextualizar la investigación y fundamentar teóricamente la importancia del mucílago en el concreto.

b) Instrumentos de Recolección de datos

Se refiere a los recursos, ya sean virtuales o físicos, que emplea el investigador para recopilar datos y medir variables de interés (Hernández y Mendoza, 2023). Para complementar la técnica de investigación, se emplearon diversos instrumentos de recolección de datos.

El instrumento utilizado fue la ficha de registro de datos, que se empleó para organizar la información recolectada durante los ensayos. Este instrumento incluyó campos específicos para anotar la identificación de las muestras, los porcentajes de mucílago añadido y los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, así como la consistencia del concreto. La ficha permitió sistematizar los resultados de manera clara y accesible, facilitando el análisis posterior.

Además, se utilizaron diversas herramientas y equipos de laboratorio para realizar los ensayos mecánicos. Entre ellos, se contó con una prensa de compresión para medir la resistencia del concreto, un dispositivo para medir el asentamiento (slump) y dispositivos para evaluar el peso unitario y exudación. Estas herramientas fueron fundamentales para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en cada prueba.

Finalmente, se recurrió a software especializado para el análisis de los datos recopilados. Este software facilitó la realización de análisis estadísticos, permitiendo procesar los datos, generar gráficos y tablas que ilustran la relación entre las variables estudiadas. La utilización de herramientas tecnológicas contribuyó significativamente a la interpretación de los resultados, haciendo más efectiva la evaluación de las propiedades del concreto modificado con mucílago de cactáceas.

Se refiere a los recursos, ya sean virtuales o físicos, que emplea el investigador para recopilar datos y medir variables de interés (Hernández y Mendoza, 2023). En esta investigación, se utilizó la revisión documental y una ficha de registro de datos para recopilarlos durante los ensayos del concreto. Se emplearon herramientas y equipos de laboratorio, así como software para el análisis de datos.

c) Validez

Los instrumentos a emplear para el recojo de datos ya poseen validez, ya que se aplicaron de acuerdo a los métodos y parámetros determinados en las normas técnicas lo que permitió un juicio preciso y veraz (Pino, 2018). Estas normas son: Norma E.060. Concreto armado para el diseño de mezcla; NTP 339.035 – 1999 Método de ensayo para la medición del asentamiento; NTP 339.046.2008 Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del hormigón (concreto); NTP 339.077:2013, revisada en 2017 Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto; y NTP 339.084:2012, revisada en 2017 Método de Ensayo Normalizado para La Determinación de La Resistencia A La Compresión.

d) **Confiabilidad**

El instrumento debe demostrar confiabilidad, evitando que los mismos resultados se reproduzcan en una sola persona, lo que garantiza consistencia y coherencia en los resultados (Arias, 2012). En este estudio, la confiabilidad se respalda mediante certificados de calibración para los diferentes equipos empleados en laboratorio, y se realizaron pruebas supervisadas por un experto en la materia.

4.5. Procedimientos

Los procedimientos para esta investigación incluyeron la preparación y prueba de briquetas de concreto con diferentes porcentajes de mucílago de cactáceas. Para iniciar, se llevó a cabo un análisis granulométrico de los agregados, el cual consiste en determinar la distribución del tamaño de las partículas del material. Este análisis es crucial, ya que influye en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto. Se emplearon tamices de diferentes mallas para clasificar los agregados y se registraron las proporciones de cada fracción, asegurando que la mezcla cumpliera con las normativas técnicas establecidas.

A partir del análisis granulométrico, se diseñó la mezcla de concreto, utilizando el método ACI (American Concrete Institute), que permite calcular la proporción óptima de los diferentes componentes del concreto. Este método proporciona una guía precisa para combinar agregados finos y gruesos, maximizando la eficiencia del uso de materiales y optimizando las propiedades mecánicas del concreto. Las proporciones adecuadas de cemento, agregados, agua y mucílago de cactáceas se establecieron con base en este análisis.

Las muestras fueron fabricadas en el laboratorio siguiendo normas técnicas estandarizadas para asegurar la uniformidad y confiabilidad de los resultados. Cada lote de concreto fue mezclado cuidadosamente en una mezcladora de laboratorio, asegurando que todos los componentes se integraran homogéneamente. Una vez mezclado, el concreto fue colocado en moldes para la formación de briquetas, que luego fueron curadas bajo

condiciones controladas de temperatura y humedad para permitir el desarrollo óptimo de sus propiedades.

Antes de someter las briquetas a pruebas de resistencia a la compresión, se realizaron diversos ensayos de trabajabilidad, que incluyen la prueba de slump (asentamiento) para evaluar la consistencia de la mezcla y su facilidad de manejo. También se determinó el peso unitario del concreto, que proporciona información sobre la densidad del material y su comportamiento en aplicaciones estructurales.

Además, se llevó a cabo una prueba de exudación, que evalúa la cantidad de agua que puede separarse de la mezcla durante el proceso de curado. Este ensayo es importante para identificar posibles problemas de durabilidad que puedan surgir debido a la pérdida excesiva de agua.

Se realizaron pruebas de resistencia a la abrasión, las cuales miden la capacidad del material para resistir el desgaste causado por la fricción y el roce, siendo fundamental en aplicaciones de pavimentación. Finalmente, se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la compresión, que consisten en someter las briquetas a cargas axiales hasta su falla. Esta prueba es esencial para evaluar la capacidad del concreto para soportar esfuerzos estructurales y se realizó a diferentes edades de las muestras (7, 14 y 28 días) para determinar el desarrollo de la resistencia a lo largo del tiempo.

Los resultados de cada ensayo fueron cuidadosamente registrados y organizados en el programa Excel para su posterior análisis. Este enfoque metódico garantizó que los datos obtenidos fueran precisos y representativos, facilitando la evaluación del impacto del mucílago de cactáceas en las propiedades del concreto.

4.6. Análisis de datos

Los datos recolectados en laboratorio fueron procesados y analizados utilizando Excel y SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). En Excel, se realizaron cálculos

preliminares como promedios y desviaciones estándar para tener una visión inicial de las variaciones en las propiedades del concreto. Posteriormente, se utilizó SPSS para efectuar el análisis de varianza (ANOVA), que permitió identificar las significativas diferencias entre los grupos muestrales con diferentes porcentajes de mucílago de cactáceas. Este análisis estadístico ayudó a determinar el impacto del aditivo en la resistencia a la compresión y otras propiedades del concreto.

4.7. Consideraciones éticas

El aspecto ético se centra en el respeto de la integridad del proceso, para asegurar que la investigación sea beneficiosa y justa. Además, se informaron los resultados de manera honesta, respetando los derechos de autor y manteniendo una supervisión ética a lo largo de todo el proceso.

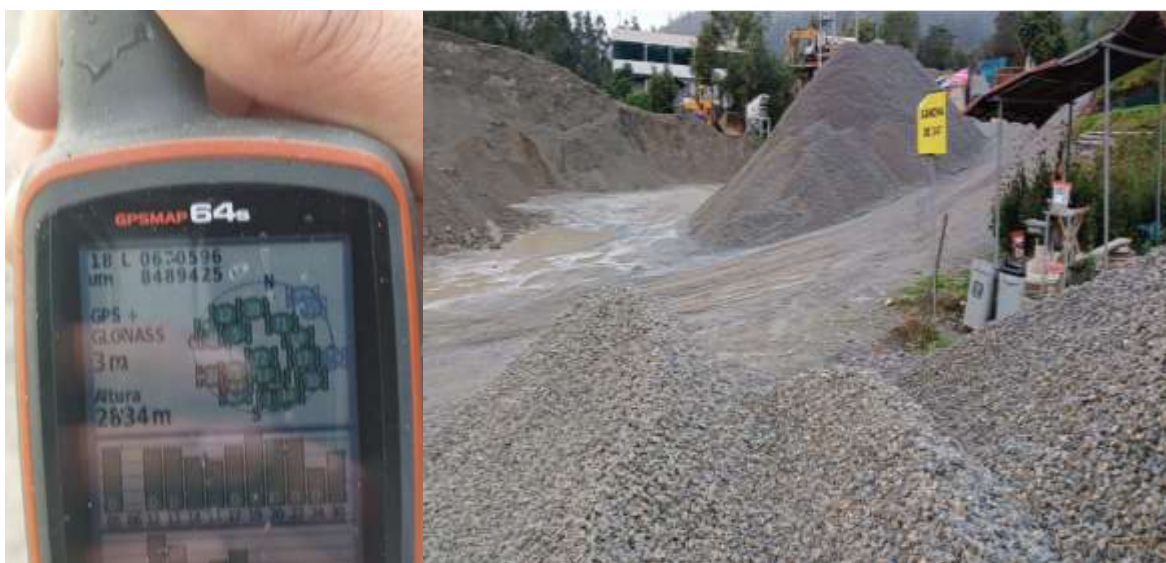
V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Para el diseño del concreto $f'_c=210$ Kg/cm², se trabajó con agregados de la Cantera Multiservicios Santa Lucía, del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac, la misma que se ubica a 2634 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación de la cantera Multiservicios Santa Lucía EIRL mediante GPS



5.1.1. Análisis granulométrico

Se utilizaron diferentes tamices de acuerdo con las normativas NTP 339.128 y ASTM C-136 para determinar las características del tamaño de los agregados gruesos y finos (INDECOPI, 2014). En esta investigación, se empleó arena gruesa tanto como piedra chancada de $\frac{3}{4}$ ".

Figura 2

Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso y agregado fino



Nota. Agregados clasificados por tamaño, según los tamices de acuerdo con las normativas NTP 339.128 y ASTM C-136 (INDECOPI, 2014).

5.1.1.1. Granulometría del agregado grueso.

La distribución de tamaños de los agregados gruesos para la mezcla estándar se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3

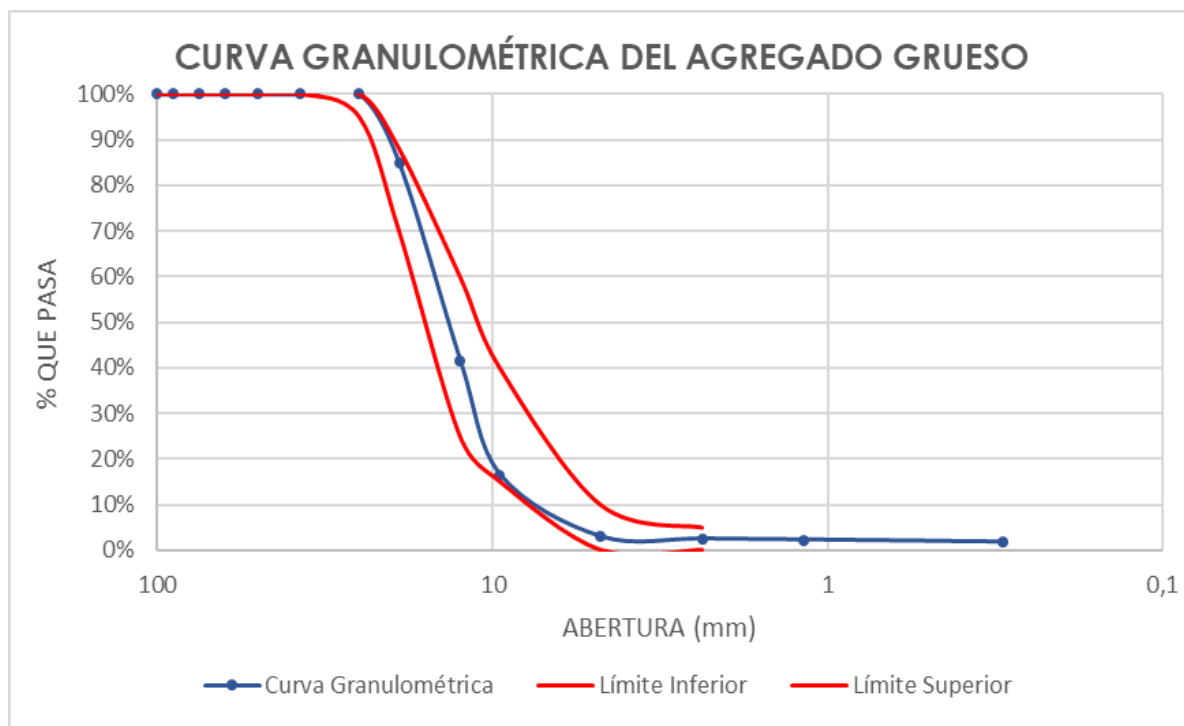
Análisis granulométrico por tamizado de agregado grueso

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Huso Granulométrico	
						Límite Inferior	Límite Superior
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
¾"	19	770.00	15.07%	15.07%	84.93%	70%	88%
½"	12.5	2,213.00	43.31%	58.38%	41.62%	25%	60%
⅜"	9.5	1,284.00	25.13%	83.50%	16.50%	15%	40%
N° 4	4.75	693.00	13.56%	97.06%	2.94%	0%	10%
N° 8	2.36	21.90	0.43%	97.49%	2.51%	0%	5%
N° 16	1.18	11.20	0.22%	97.71%	2.29%		
Bandeja		29.90	0.59%	98.77%			
Total Agregado Retenida =		5,047.00	98.77%				

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio. Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 3

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. Resultado de ensayos de laboratorio. Fuente: (INNDE, 2023)

La evaluación granulométrica indica que el agregado grueso satisface las especificaciones establecidas en el huso 57 de la norma NTP 400.037. Según el INDECOPI (2018), ya que se observa que el agregado pasa en el 100% del tamiz de 1", lo cual concuerda con la variación recomendada del 95% al 100%; por otra parte, por el tamiz de 1/2" pasa el 41.62%, que cumple con la especificación que debe oscilar entre 25% a 60%; en el tamiz N° 4 pasa el 2.94%, que se encuentra entre 0% y 10%; finalmente, en el tamiz N° 8 pasa el 2.51%, cumpliendo con la norma. En general, el agregado grueso cumple con los requisitos globales establecidos por la normativa, como se muestra en la figura 3.

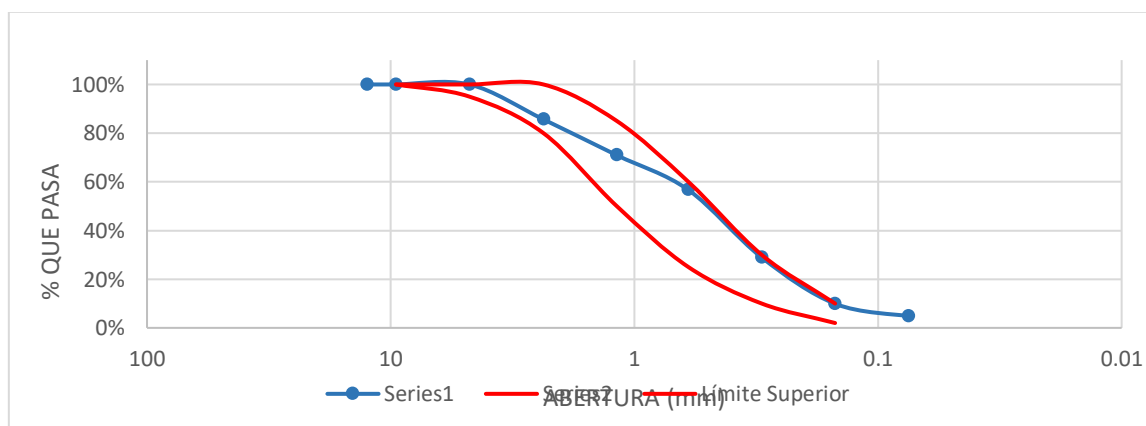
5.1.1.2. Granulometría del agregado fino.

La distribución del tamaño del agregado fino para la mezcla estándar se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4*Análisis granulométrico por tamizado de agregado fino*

Tamiz N°	Abertura del Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Huso Granulométrico	
						Límite Inferior	Límite Superior
1/2"	12.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
N° 4	4.75	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
N° 8	2.36	150.00	14.35%	14.35%	85.65%	80%	100%
N° 16	1.18	153.80	14.72%	29.07%	70.93%	50%	85%
N° 30	0.600	149.00	14.26%	43.33%	56.67%	25%	60%
N° 50	0.300	290.20	27.77%	71.10%	28.90%	10%	30%
N° 100	0.150	198.60	19.00%	90.11%	9.89%	2%	10%
N° 200	0.075	52.70	5.04%	95.15%	4.85%		
Bandeja		3.10	0.30%	95.44%			
Total de la muestra retenida =		997.40	95.44%				

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio. Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 4*Gradación granulométrica del tamizado*

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio. Fuente: (INNDE, 2023).

El análisis de gradación granulométrica expone que el agregado fino cumple en su mayoría con las especificaciones establecidas según la norma ASTM C-136 y la norma NTP 400.037. Según el INDECOPI (2018), los resultados de los tamices N° 4, N° 8, N° 30 y N°

100 se encuentran dentro de los estándares, pero el tamiz N° 50 tiene una mínima variación, estableciéndose entre 10% y 30%, sin embargo, el resultado obtenido indica que hay una variación de 5% a 30%. Obteniendo un módulo de fineza de 2.48, el mismo que esta entre el rango sugerido por la norma NTP 400.037 (INDECOPI, 2018), que fija su valor entre 2.3 y 3.1.

5.1.1.3. Resistencia a la abrasión.

Es la capacidad para resistir al desgaste o la erosión provocados por el roce o fricción con otros materiales. Esta propiedad se midió con el método de Los Ángeles, que evalúa la pérdida de masa de los agregados tras ser sometidos a un proceso de abrasión. A continuación, se detallan los resultados:

Tabla 5

Resistencia a la abrasión de los agregados

Gradación	Revoluciones N°	Billas N°	P de muestra antes	P que queda después	% de pérdida corregida
"A"	500	12	5,000.00	3,743.00	25.10

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio. Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 5

Ensayo de abrasión de los Ángeles



La resistencia a la abrasión de los agregados, medida mediante el método de Los Ángeles, muestra que estos experimentaron una pérdida de masa del 25,10% después de 500 revoluciones con 12 billas. Este valor sugiere que el agregado tiene una capacidad moderada para resistir el desgaste provocado por la fricción con otros materiales, según los criterios de la NTP 400.020 (INACAL, 2002), que establece que una pérdida superior al 25% es considerada elevada para la mayoría de aplicaciones en concreto. Este porcentaje sugiere que los agregados utilizados son relativamente susceptibles a la abrasión, lo que podría comprometer su durabilidad en aplicaciones de concreto sometidas a fricción constante. El valor obtenido es útil para evaluar la idoneidad de los agregados en proyectos que requieren materiales con alta resistencia al desgaste, como pavimentos o superficies de alto tráfico.

5.1.2. Proceso de obtención de mucilago de cactáceas

Para realizar el diseño de mezcla en primer lugar fue necesario obtener el mucilago de cactus de San Pedro y de la penca de tuna la cual se detalla a continuación:

5.1.2.1. Obtención de mucilago de cactus de San Pedro.

El mucílago de cactus de San Pedro se obtiene a partir de especímenes maduros de este cactus, seleccionados por su tamaño y estado saludable. Una vez cortadas las ramas del cactus, se retira la piel exterior para exponer la pulpa interna rica en mucílago. La pulpa se corta en trozos pequeños y se tritura para facilitar la liberación del mucílago. Luego, la pulpa triturada se mezcla con agua y se deja macerar, permitiendo que el mucílago se separe de las fibras.

El siguiente paso es filtrar la mezcla para obtener el mucílago limpio, separándolo de los sólidos remanentes. Una vez extraído, el mucílago puede concentrarse mediante evaporación o secado a baja temperatura, asegurando que se conserve su viscosidad. Finalmente, el mucílago se almacena en recipientes sellados para evitar su descomposición y se mantiene listo para su uso en diversas aplicaciones, como aditivo en el concreto.

Figura 6

Proceso de obtención de mucilago de cactus de San Pedro



5.1.2.2. Obtención de mucilago de penca de tuna.

La obtención del mucílago de penca de tuna comienza con la selección de pencas maduras de la planta de tuna, conocidas por su alto contenido de mucílago. Las pencas se cortan y se les quita la piel exterior y las espinas, dejando la pulpa expuesta. Esta pulpa se corta en partes pequeñas para facilitar la trituración lo que hace que se libere y se pueda extraer el mucílago al agregar agua a esta mezcla, dejando que macere y suelte su componente gelatinoso.

Después de la maceración, la mezcla se filtra para separar las fibras sólidas del mucílago líquido. El mucílago obtenido se puede concentrar mediante procesos de evaporación controlada o secado a baja temperatura, lo que permite conservar sus propiedades. Para el almacenamiento del mucílago concentrado debe emplearse recipientes herméticamente cerrados, para evitar su deterioro y puede utilizarse como un aditivo natural en el diseño de concreto, lo que ayudará a reducir costos y mejorar la sostenibilidad en el uso de materiales.

Figura 7

Proceso de obtención de mucílago de penca de tuna



5.1.3. Diseño de mezclas de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

En el diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, se consideraron las características de los agregados obtenidos en los ensayos para realizar los reajustes necesarios para diseñarlas con diferentes proporciones de aditivo de mucilago de cactáceas, además se empleó Cemento Portland Yura Tipo I.

Figura 8

Materiales para el diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con aditivo



En el diseño de mezcla tanto para el concreto patrón, es decir, sin porcentaje de aditivo, así como para el concreto con aditivo de cactáceas se empleó arena gruesa como agregado grueso y fino, cemento Portland Yura Tipo I y agua de la zona (libre de acidez y elementos perjudiciales para el concreto), considerando las siguientes características:

Tabla 6*Características del agregado grueso, agregado fino y cemento*

Tipo de ensayo	Agregado grueso	Agregado fino	Cemento Portland Yura Tipo I
Peso específico gr/cm ³	2.74	2.77	3.125
Peso unitario suelto Kg/m ³	1,522.39	1,638.09	
Peso unitario compactado Kg/m ³	1,646.91		
Tamaño máximo nominal	3/4"		
% vacío		38.15	
Módulo de fineza	6.86	2.48	
% Humedad natural	0.52	0.86	
% Absorción	1.13	1.69%	
Resistencia a la abrasión (desgaste)	25.10%		

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Los resultados de granulometría y de las propiedades físicas de los agregados proporcionan información relevante para su uso. Para el agregado grueso, el peso específico y el peso unitario suelto son 2.74 gr/cm³ y 1,522.39 Kg/m³ respectivamente, lo que indica una densidad considerable. Además, el peso unitario compactado es de 1,646.91 Kg/m³, lo que es crucial para garantizar una buena resistencia en la mezcla de concreto.

En cuanto al agregado fino, el peso específico es de 2.77 gr/cm³, y un peso unitario suelto de 1,638.09 Kg/m³, que expone una mayor densidad en comparación con el agregado grueso. El módulo de fineza es 2.48, lo que indica una distribución de tamaño de partícula media, lo que puede influir en las propiedades del concreto, como la trabajabilidad y la resistencia.

Además, se observa que ambos tipos de agregados tienen un bajo porcentaje de humedad natural, lo que es beneficioso para la mezcla de concreto, ya que un exceso de humedad puede afectar negativamente las propiedades del concreto endurecido.

Respecto a la absorción, el agregado fino muestra un porcentaje ligeramente mayor en comparación con el agregado grueso, lo que implica que el agregado fino puede retener más agua, lo que debe tenerse en cuenta al ajustar las proporciones en la mezcla de concreto.

Asimismo, la resistencia a la abrasión de los Ángeles indica que el porcentaje de desgaste del agregado fue de 25.10%, lo que es importante tener en cuenta para el diseño de mezcla, pues al ser relativamente susceptibles a la abrasión se recomienda que para garantizar su durabilidad estas sean en aplicaciones de concreto no sometidas a fricción constante.

Por consiguiente, estos resultados sobre las características físicas de los agregados gruesos y finos son fundamentales para realizar los reajustes necesarios en el diseño de la mezcla de concreto. A ello se suma que el cemento usado fue el Portland Yura tipo I que se determinó que tiene un peso específico de 3.125gr/cm³, lo cual cumple con su ficha técnica, la cual indica que debe estar entre 3.1 y 3.2 gr/cm³.

A continuación, se detalla el diseño de mezcla del concreto patrón y concreto con los porcentajes de aditivo:

5.1.3.1. Concreto patrón.

En el diseño de mezcla de concreto $f'_c=210$ kg/cm², se consideraron las características de los agregados obtenidos en los ensayos granulométricos para ajustar las proporciones de los componentes. Se empleó el método de diseño ACI (American Concrete Institute) para garantizar una mezcla óptima y duradera. En primer lugar, se diseñó un concreto patrón sin aditivos, proporcionando los agregados finos y gruesos para cumplir con las especificaciones de resistencia y trabajabilidad, empleando Cemento Portland Yura Tipo I como aglomerante. Se determinó la cantidad de agua para alcanzar la trabajabilidad adecuada, manteniendo una relación agua/cemento controlado. Lo cual se hizo de la siguiente manera:

Tabla 7

Diseño de mezcla del concreto patrón $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Materiales	Cantidad por m^3	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para 9 testigos
Cemento	7.14 bls	1.00 bls	14.47 kg
Agregado fino	0.49 m^3	2.41 pie^3	38.12 kg
Agregado grueso	0.71 m^3	3.51 pie^3	51.50 kg
Agua	210.13 lt	29.44 lt	10.03 kg

La Tabla 7 presenta el diseño de la mezcla estándar de concreto sin aditivos. Para producir un metro cúbico de concreto, se necesitan 7.14 bolsas de cemento, 0.49 m^3 de agregado fino, 0.71 m^3 de agregado grueso y 210.13 litros de agua. En el caso de los 9 testigos, las proporciones utilizadas incluyen 14.47 kg de cemento, 38.12 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso y 10.03 kg de agua, garantizando una mezcla uniforme y adecuada para las pruebas.

Figura 9

Materiales para el diseño de mezcla del concreto patrón $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$



5.1.3.2. Concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro.

Para el diseño del concreto con mucílago de cactus de San Pedro, se utilizó el método ACI de manera similar al concreto patrón, pero se incorporaron proporciones de este biopolímero como aditivo en porcentaje de 0.75% en relación al peso del cemento que es lo que recomienda dicho método. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m³.

$$\text{Peso del cemento} = 7.22 \text{ bolsas} \times 42.50 \text{ kg/bolsa} = 306.85 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 0.75% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.0075 \times 306.85 \text{ kg} = 2.30 \text{ kg}$$

Se evaluó el impacto del mucílago en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, para mantener la consistencia del concreto dentro de los rangos adecuados. Se realizó con la siguiente proporción:

Tabla 8

Diseño de mezcla del concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro

Materiales	Cantidad por m³	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para 9 testigos
Cemento	7.22 bls	1.00 bls	14.64 kg
Agregado fino	0.48 m ³	2.36 pie ³	37.67 kg
Agregado grueso	0.71 m ³	3.47 pie ³	51.50 kg
Agua	202.63 lt	28.06 lt	9.67 kg
Aditivo	2.30 kg	321 ml	0.11 kg

La Tabla 8 muestra el diseño de mezcla de concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro en relación al peso del cemento. Se indica que, por cada metro cúbico de concreto, se requieren 7.22 bolsas de cemento, 0.48 m³ de agregado fino, 0.71 m³ de agregado grueso, 202.63 litros de agua y 2.30 kg de aditivo. Para las pruebas específicas, las cantidades necesarias fueron ajustadas en proporción, destacando que se utilizaron 14.64 kg

de cemento, 37.67 kg de agregado fino y 51.50 kg de agregado grueso, 9.67 kg de agua, por lo que la cantidad de aditivo empleado fue de 0.11 kg.

Figura 10

Materiales para el diseño del concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro



5.1.3.3. Concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro.

Para el diseño del concreto con mucílago de cactus de San Pedro, se utilizó el método ACI de manera similar al concreto patrón, pero se incorporaron proporciones de este biopolímero como aditivo en porcentaje de 1.00% en relación al peso del cemento que es lo que recomienda dicho método. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m³.

$$\text{Peso del cemento} = 7.31 \text{ bolsas} \times 42.5 \text{ kg/bolsa} = 310.68 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 1.00% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.01 \times 310.68 \text{ kg} = 3.11 \text{ kg}$$

Se evaluó el impacto del mucílago en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, la cantidad de agua necesaria para mantener la consistencia del concreto dentro de los rangos adecuados. Se realizó con la siguiente proporción:

Tabla 9

Diseño de mezcla del concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro

Materiales	Cantidad por m³	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para los testigos
Cemento	7.31 bls	1.00 bls	14.83 kg
Agregado fino	0.48 m ³	2.31 pie ³	37.40 kg
Agregado grueso	0.71 m ³	3.42 pie ³	51.50 kg
Agua	200.13 lt	27.37 lt	9.55 kg
Aditivo	3.11 kg	428 ml	0.15 kg

La Tabla 9 muestra el diseño de la mezcla de concreto que incluye un 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro respecto al peso del cemento. Para un metro cúbico de concreto, se emplearon 7.31 bolsas de cemento, 0.48 m³ de agregado fino, 0.71 m³ de agregado grueso, 200.13 litros de agua y 3.11 kg del aditivo. Las proporciones para los 9 testigos incluyeron 14.83 kg de cemento, 37.40 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso, 9.55 kg de agua y 0.15 kg de aditivo, garantizando consistencia en las pruebas.

Figura 11

Materiales para el diseño del concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro



5.1.3.4. Concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro.

Para el diseño del concreto con mucílago de cactus de San Pedro, se utilizó el método ACI similarmente al concreto patrón, pero se incorporaron proporciones de este biopolímero como aditivo en porcentaje de 1.25% en relación al peso del cemento que es lo que recomienda dicho método. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m³.

$$\text{Peso del cemento} = 7.40 \text{ bolsas} \times 42.5 \text{ kg/bolsa} = 314.50 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 1.25% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.0125 \times 314.50 \text{ kg} = 3.93 \text{ kg}$$

Se evaluó el impacto del mucílago en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, la cantidad de agua necesaria para mantener la consistencia del concreto dentro de los rangos adecuados. Se realizó con la siguiente proporción:

Tabla 10

Diseño de mezcla del concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro

Materiales	Cantidad por m³	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para los testigos
Cemento	7.40 bls	1.00 bls	15.01 kg
Agregado fino	0.47 m ³	2.27 pie ³	37.12 kg
Agregado grueso	0.71 m ³	3.38 pie ³	51.50 kg
Agua	197.63 lt	26.69 lt	9.43 kg
Aditivo	3.93 kg	535 ml	0.19 kg

La Tabla 10 presenta el diseño de mezcla del concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro en relación al peso del cemento. Para un metro cúbico de concreto, se utilizaron 7.40 bolsas de cemento, 0.47 m³ de agregado fino, 0.71 m³ de agregado grueso, 197.63 litros de agua y 3.93 kg de aditivo. En las proporciones para los 9 testigos, se

emplearon 15.01 kg de cemento, 37.12 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso, 9.43 kg de agua y 0.19 kg de aditivo, asegurando la uniformidad de la mezcla en los ensayos.

Figura 12

Materiales para el diseño del concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro



5.1.3.5. Concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna.

La mezcla de concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ con 1.50% de mucílago de penca de tuna en relación al peso del cemento que es lo que recomienda el método ACI. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m^3 .

$$\text{Peso del cemento} = 7.50 \text{ bolsas} \times 42.5 \text{ kg/bolsa} = 318.75 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 1.50% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.015 \times 318.75 \text{ kg} = 4.78 \text{ kg}$$

Considerando las características de los agregados se realizó con el método ACI y fue de la siguiente manera:

Tabla 11

Diseño de mezcla del concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna

Materiales	Cantidad por m³	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para los testigos
Cemento	7.50 bls	1.00 bls	15.21 kg
Agregado fino	0.47 m ³	2.22 pie ³	36.83 kg
Agregado grueso	0.71 m ³	3.34 pie ³	51.50 kg
Agua	195.13 lt	26.02 lt	9.31 kg
Aditivo	4.78 kg	647 ml	0.23 kg

La Tabla 11 muestra el diseño de mezcla del concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna en relación al peso total. Para un metro cúbico de concreto, se utilizaron 7.50 bolsas de cemento, 0.47 m³ de agregado fino, 0.71 m³ de agregado grueso, 195.13 litros de agua, y 4.78 kg de aditivo. En la proporción para los 9 testigos, se requerían 15.21 kg de cemento, 36.83 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso, 9.31 kg de agua y 0.23 kg de aditivo, asegurando que la mezcla siguiera parámetros consistentes para los ensayos.

Figura 13

Materiales para el diseño del concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna



5.1.3.6. Concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna.

La mezcla de concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ con 2.00% de mucílago de penca de tuna en relación al peso del cemento que es lo que recomienda el método ACI. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m^3 .

$$\text{Peso del cemento} = 7.70 \text{ bolsas} \times 42.5 \text{ kg/bolsa} = 327.25 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 2.00% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.02 \times 327.25 \text{ kg} = 6.54 \text{ kg}$$

Considerando las características de los agregados se realizó con el método ACI y fue de la siguiente manera:

Tabla 12

Diseño de mezcla del concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna

Materiales	Cantidad por m^3	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para los testigos
Cemento	7.70 bls	1.00 bls	15.61 kg
Agregado fino	0.46 m^3	2.13 pie^3	36.23 kg
Agregado grueso	0.71 m^3	3.25 pie^3	51.50 kg
Agua	190.13 lt	24.71 lt	9.07 kg
Aditivo	6.54 kg	862 ml	0.31 kg

La Tabla 12 detalla el diseño de mezcla del concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna en relación al peso del cemento. Para un metro cúbico de concreto, se utilizaron 7.70 bolsas de cemento, 0.46 m^3 de agregado fino, 0.71 m^3 de agregado grueso, 190.13 litros de agua, y 6.54 kg de aditivo. Para los 9 testigos las cantidades fueron de 15.61 kg de cemento, 36.23 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso, 9.07 kg de agua y 0.31 kg de aditivo, manteniendo las proporciones adecuadas para garantizar uniformidad en los ensayos.

Figura 14

Materiales para el diseño del concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna



5.1.3.7. Concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna.

La mezcla de concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ con 2.50% de mucílago de penca de tuna en relación al peso del cemento que es lo que recomienda el método ACI. A continuación, se expone el cálculo realizado para su determinación de la cantidad de aditivo a emplear por m^3 .

$$\text{Peso del cemento} = 7.90 \text{ bolsas} \times 42.5 \text{ kg/bolsa} = 335.75 \text{ kg}$$

Considerando que el aditivo representa el 2.00% del peso del cemento, se tiene que:

$$\text{Cantidad de aditivo} = 0.025 \times 335.75 \text{ kg} = 8.40 \text{ kg}$$

Considerando las características de los agregados se realizó con el método ACI y fue de la siguiente manera:

Tabla 13

Diseño de mezcla del concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna

Materiales	Cantidad por m³	Proporción en volumen de mezcla	Material requerido para los testigos
Cemento	7.90 bls	1.00 bls	16.03 kg
Agregado fino	0.46 m ³	2.04 pie ³	35.61 kg
Agregado grueso	0.71 m ³	3.17 pie ³	51.50 kg
Agua	185.13 lt	23.42 lt	8.83 kg
Aditivo	8.40 kg	1078 ml	0.40 kg

La Tabla 13 presenta el diseño de mezcla del concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna en relación al peso total. Para un metro cúbico de concreto, se emplearon 7.90 bolsas de cemento, 0.46 m³ de agregado fino, 0.71 m³ de agregado grueso, 185.13 litros de agua, y 8.40 kg de aditivo. Para los 9 testigos, las cantidades fueron 16.03 kg de cemento, 35.61 kg de agregado fino, 51.50 kg de agregado grueso, 8.83 kg de agua y 0.40 kg de aditivo, asegurando la coherencia en los ensayos y resultados obtenidos.

Figura 15

Materiales para el diseño del concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna



5.1.4. Ensayos del concreto $f'c=210$ Kg/cm² en estado fresco

Teniendo en cuenta que es necesario cumplir con las especificaciones técnicas de la normativa para el diseño del concreto, se evaluaron mediante ensayos de laboratorio las propiedades en estado fresco como son la trabajabilidad, peso unitario y la exudación del concreto.

Los resultados se detallan en los siguientes numerales:

5.1.4.1. Trabajabilidad.

La trabajabilidad es una medida de la consistencia del concreto fresco, lo que significa que indica qué tan fácilmente se puede manejar y colocar el concreto. Es importante evaluarla trabajabilidad para garantizar que el concreto tenga la consistencia adecuada para su aplicación particular, ya sea vertido en moldes, encofrados o estructuras.

Figura 16

Ensayo de Slump del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas



Además, según la Norma ASTM C-143, el valor recomendado para el asentamiento debe estar dentro del rango especificado en el diseño de la mezcla. Para concreto de resistencia estándar como el $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, un asentamiento típico puede ser de 3" a 4". Estos son los resultados encontrados:

Tabla 14

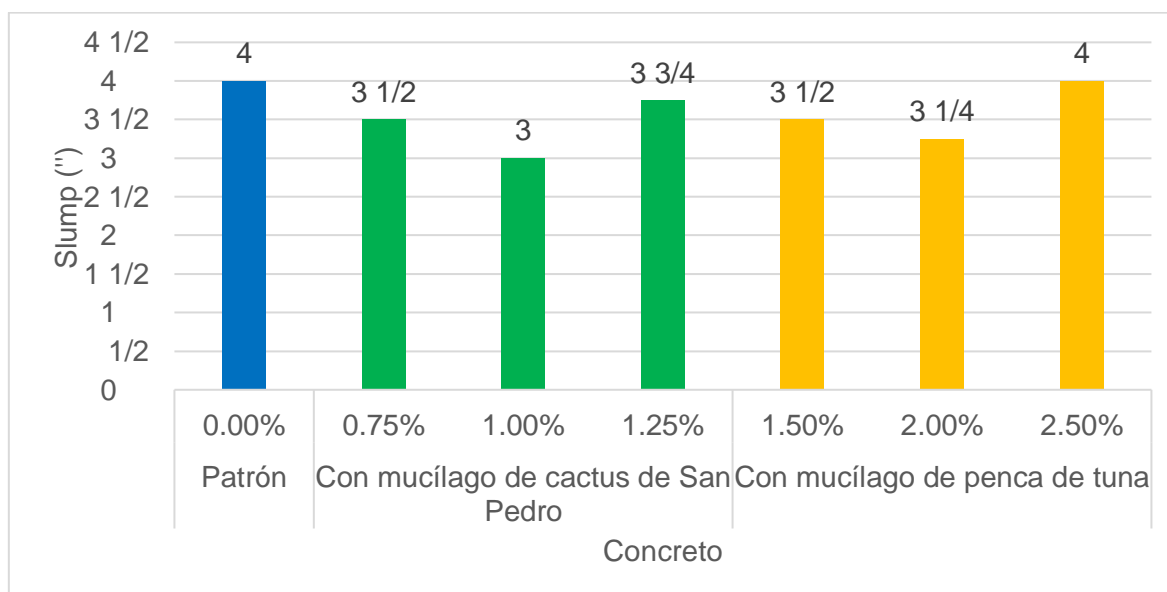
Trabajabilidad del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas

Concreto	Porcentaje de aditivo	Slump
Patrón	0.00%	4"
	0.75%	3 1/2"
Con mucílago de cactus de San Pedro	1.00%	3"
	1.25%	3 3/4"
	1.50%	3 1/2"
Con mucílago de penca de tuna	2.00%	3 1/4"
	2.50%	4"

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 17

Trabajabilidad del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas



Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Para el concreto patrón, que no contiene aditivo de mucílago, se observa un slump de 4". Este valor indica una buena trabajabilidad del concreto, lo que sugiere que es fácil de manejar y colocar en el lugar deseado.

Al agregar mucílago de cactus de San Pedro al concreto, se observan cambios en la trabajabilidad. Con un 0.75% de aditivo, el slump disminuye ligeramente a 3 1/2", lo que sugiere una leve reducción en la trabajabilidad, pero aún dentro de rangos aceptables. Sin embargo, con un 1.00% de aditivo, el slump se reduce a 3", indicando una mayor pérdida de trabajabilidad. Posteriormente, con un 1.25% de aditivo, el slump aumenta nuevamente a 3 3/4", sugiriendo una recuperación parcial de la trabajabilidad.

Por otro lado, al utilizar mucílago de penca de tuna, con un 1.50% de aditivo, se observa una reducción en el slump a 3 1/2". Esto indica una disminución en la trabajabilidad del concreto, pero aún se mantiene dentro de los límites aceptables. Con un 2.00% de aditivo, el slump se reduce ligeramente a 3 1/4" en comparación con el 1.50% de aditivo. Finalmente, con un 2.50% de aditivo, el slump aumenta a 4", lo que podría indicar una mejora en la trabajabilidad.

Estos resultados del ensayo de slump en estado fresco cumplen con lo señalado en la NTP 339.035, pues los valores de asentamiento están entre los rangos permitidos por la norma. Lo cual indica que, aunque hubo variaciones en la trabajabilidad por la adición de mucílago de cactus de San Pedro y penca de tuna, el concreto se mantiene manejable y apto para su colocación sin complicar su calidad. En contraste, si los valores estarían fuera de la norma, se generaría una trabajabilidad inadecuada, que dificultaría la colocación y compactación del concreto, afectando su resistencia y durabilidad en estado endurecido.

5.1.4.2. Peso unitario.

El peso unitario del concreto fresco es la masa por unidad de volumen. Esta medida es importante para garantizar la calidad y durabilidad del concreto, ya que afecta la resistencia y la densidad del material. Evaluarlo asegura que la mezcla tenga la cantidad adecuada de agregados y cemento, lo que influye en su comportamiento durante el fraguado y endurecimiento.

Figura 18

Ensayo de peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas



Además, según la Norma ASTM C-138, los valores recomendados indican que el peso unitario del concreto fresco debe estar dentro del rango especificado de 2200 a 2400 kg/m³ en el diseño de la mezcla para concreto de resistencia estándar de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Los resultados del peso unitario de los diferentes diseños de mezcla son:

Tabla 15

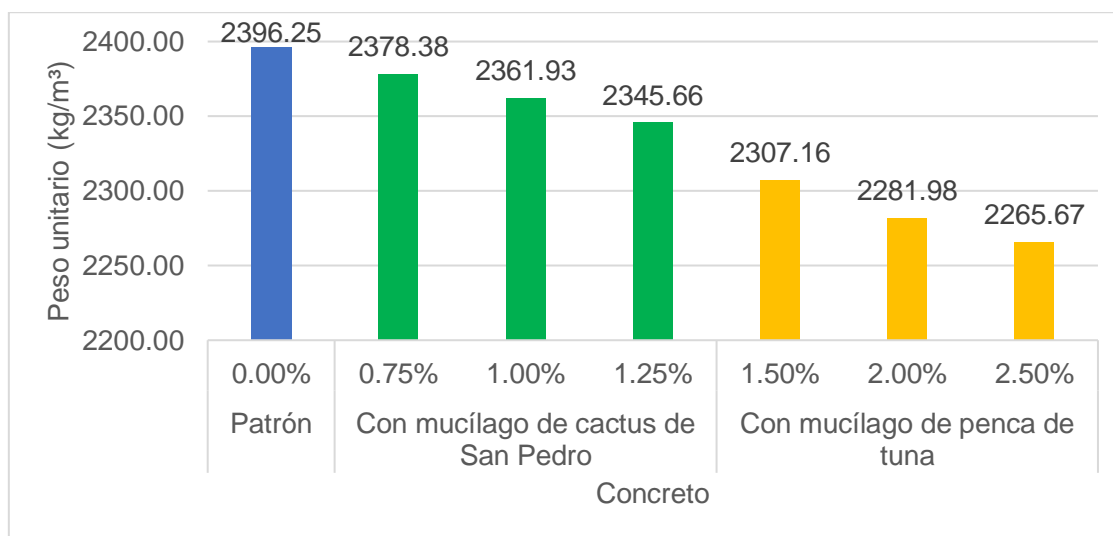
Peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas

Concreto	Porcentaje de aditivo	Peso unitario (kg/m³)
Patrón	0.00%	2,396.25
Con mucílago de cactus de San Pedro	0.75%	2,378.38
	1.00%	2,361.93
	1.25%	2,345.66
Con mucílago de penca de tuna	1.50%	2,307.16
	2.00%	2,281.98
	2.50%	2,265.67

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 19

Peso unitario del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas



Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Los resultados del peso unitario del concreto muestran que, para el concreto patrón, es decir, sin la adición de ningún aditivo de mucílago, fue de 2,396.25 kg/m³. Esto sirve de referencia inicial para comparar los efectos de la adición de mucílago de cactáceas. Al incorporar mucílago de cactus de San Pedro al concreto, con un 0.75% de aditivo, se observa que el peso unitario disminuye a 2,378.38 kg/m³. Con un 1.00% de aditivo, se registra una disminución en el peso unitario, descendiendo a 2361.93 kg/m³. Posteriormente, con un 1.25% de aditivo, el peso unitario se reduce a 2,345.66 kg/m³. Por otro lado, al emplear mucílago de penca de tuna, se nota una disminución en el peso unitario del concreto en comparación con el patrón. Con un 1.50% de aditivo, desciende a 2,307.16 kg/m³. Luego, con un 2.00% de aditivo, se registra una disminución más notable, cayendo a 2,281.98 kg/m³. Con un 2.50% de aditivo, el peso unitario se reduce a 2,265.67 kg/m³.

Estos resultados en el peso unitario cumplen con lo normado en la NTP 339.046, pues los valores obtenidos están dentro de los parámetros permitidos. Además, al agregar mucílago de cactáceas se esperaba que se redujera por la posible incorporación de aire y

modificaciones de la densidad del material. No obstante la disminución de estos valores se observó que se mantiene dentro de los límites permitidos, sin arriesgar la estabilidad ni la capacidad estructural. En caso de que no se cumpla con lo normado, el concreto elaborado tendría menor resistencia mecánica y problemas de durabilidad en el largo plazo.

5.1.4.3. Exudación.

La exudación es el proceso mediante el cual el agua segregada en la superficie del concreto fresco se desplaza hacia arriba debido a la gravedad. Evaluar la exudación es importante para determinar la calidad del concreto, ya que un exceso de agua segregada puede afectar negativamente la resistencia y durabilidad del material. Además, una exudación excesiva puede resultar en una superficie de concreto débil y propensa a la formación de grietas. Por lo tanto, monitorear la exudación es crucial para garantizar un concreto de calidad y adecuado para su uso previsto.

Figura 20

Ensayo de exudación del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas

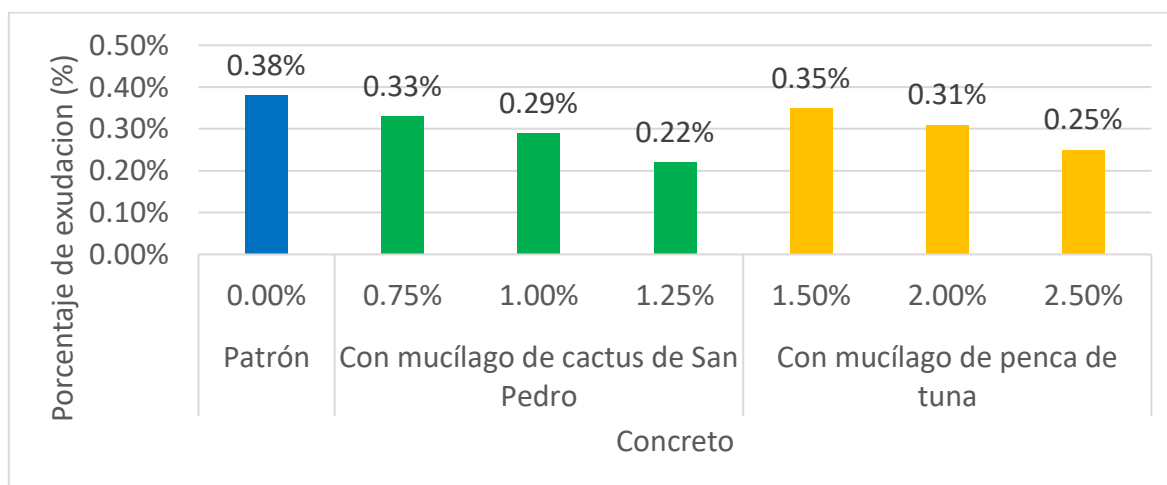


Además, según la NTP 339.084, el valor recomendado para la exudación no debe exceder el 3% del diámetro del agregado máximo, para concreto de resistencia $f'c = 210$ kg/cm², una exudación típica puede ser de hasta 15 mm.

Tabla 16*Exudación del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas*

Concreto	Porcentaje de aditivo	Exudación %
Patrón	0.00%	0,38%
Con mucílago de cactus de San Pedro	0.75%	0,33%
	1.00%	0,29%
	1.25%	0,22%
Con mucílago de penca de tuna	1.50%	0,35%
	2.00%	0,31%
	2.50%	0,25%

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Figura 21*Exudación del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas*

Nota. Resultado de ensayos de laboratorio Fuente: (INNDE, 2023)

Al analizar los resultados de la exudación del concreto, se observa que, para el concreto patrón, es decir, sin la adición de ningún aditivo de mucílago, el nivel de exudación es de 0.38%.

Al incorporar mucílago de cactus de San Pedro al concreto, con un 0.75% de aditivo, se registra una ligera reducción en la exudación, alcanzando un valor de 0.33%. Esta tendencia continúa con una disminución progresiva en el porcentaje de aditivo: con un 1.00% de aditivo, la exudación se reduce a 0.29%, y con un 1.25% de aditivo, se registra el mayor nivel de exudación, alcanzando un valor de 0.22%.

Por otro lado, al emplear mucílago de penca de tuna, se observa que la exudación también disminuye en comparación con el concreto patrón. Con un 1.50% de aditivo, se reduce a 0.35%. Luego, con un 2.00% de aditivo, sigue la tendencia de reducción, llegando a 0.31%. Finalmente, con un 2.50% de aditivo, se registra un valor de 0.25%.

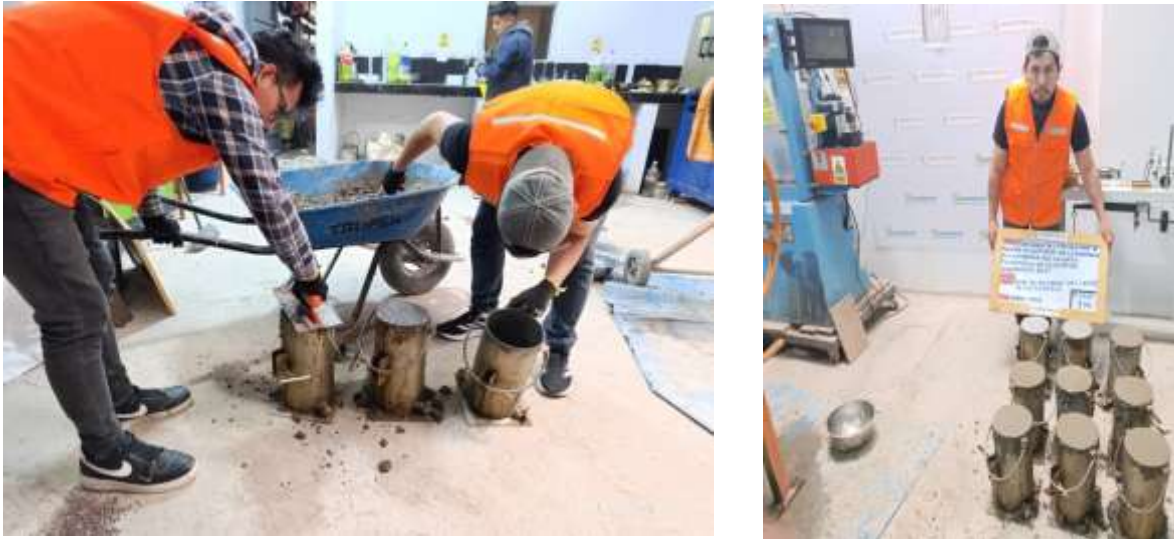
Los resultados de exudación del concreto cumplen con la NTP 339.077, pues los valores registrados no exceden los máximos permisibles. Además, al agregar 0.75% de mucilago de cactus de San Pedro o 1.50% de penca de tuna hubo una reducción de la exudación para luego disminuirse a medida que se agregaba mayor porcentaje de aditivo, estos se mantuvieron dentro de lo aceptable en lo que corresponde a la estabilidad y segregación. En caso de que los niveles de exudación excedan los límites normativos, se hubieran generado problemas de cohesión afectando su resistencia y durabilidad, lo cual incrementa el riesgo de formación de fisuras en estado endurecido.

5.1.5. Resistencia a la compresión del concreto

Se elaboraron briquetas de concreto con el objetivo de alcanzar una resistencia de 210 kg/cm², siguiendo las proporciones establecidas en el diseño de la mezcla y utilizando los porcentajes de aditivo planificados. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la compresión conforme a las normativas RNE Norma E-060 (2019) para concreto armado y NTP 339.034 (2015). Se consideró la resistencia promedio de tres probetas cilíndricas preparadas con el mismo concreto y evaluadas a los 7, 14 y 28 días para determinar el valor de $f'c$ requerido para el concreto 210 kg/cm².

Figura 22

Diseño de briquetas del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas



5.1.5.1. Concreto patrón.

El concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ fue elaborado con las cantidades determinadas según el diseño de mezcla sin aditivo, la resistencia a la compresión, se detallan en la tabla 17.

Figura 23

Ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón



Tabla 17

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto patrón

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm ²)		% de f'c		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según f'c	Obtenida	Según f'c	Resistencia (kg/cm ²)	% de f'c	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	247.78	25266	142.98	142.51	68.08%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	250.03	25496	144.28	142.51	68.70%	67.86%	143.51	68.00%	Sí cumple
3	29/01/2025	05/02/2025	7	248.31	25320	143.28	142.51	68.23%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	307.01	31306	177.15	176.25	84.36%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	304.89	31090	175.93	176.25	83.78%	83.93%	177.17	84.00%	En el rango
6	29/01/2025	12/02/2025	14	309.21	31530	178.42	176.25	84.96%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	369.59	37687	213.27	210.00	101.55%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	367.76	37500	212.21	210.00	101.05%	100.00%	212.52	101.20%	Sí cumple
9	29/01/2025	26/02/2025	28	367.52	37476	212.07	210.00	100.99%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto patrón, según la Norma ASTM C-39 y AASHTO T-22, muestran que a los 7, 14 y 28 días en promedio, las resistencias fueron de 143.51, 177.17 y 212.52 kg/cm², respectivamente. Esto indica que, a los 7 días, el concreto alcanzó aproximadamente el 68.0% de la resistencia objetivo de 210 kg/cm², aumentando a un 84.00% a los 14 días y alcanzando el valor deseado a los 28 días, alcanzando un 101.20%.

Los resultados de resistencia a la compresión de la mayoría de testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034 y en algunos casos se encuentran en el rango del 10% considerado para cilindros moldeados, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el periodo de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.2. Concreto con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro.

La resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210$ kg/cm² empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro, se detallan en la tabla 18.

Tabla 18

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm^2)		% de $f'c$		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según $f'c$	Obtenida	Según $f'c$	Resistencia (kg/cm^2)	% de $f'c$	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	254.17	25918	146.66	142.51	69.84%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	255.09	26012	147.20	142.51	70.09%	67.86%	147.41	70.20%	Sí cumple
3	29/01/2025	05/02/2025	7	257.14	26221	148.38	142.51	70.66%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	311.51	31765	179.75	176.25	85.60%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	310.58	31670	179.21	176.25	85.34%	83.93%	179.56	85.51%	Sí cumple
6	29/01/2025	12/02/2025	14	311.48	31762	179.73	176.25	85.59%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	389.14	39681	224.55	210.00	106.93%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	381.37	38888	220.06	210.00	104.79%	100.00%	222.35	105.88%	Sí cumple
9	29/01/2025	26/02/2025	28	385.48	39307	222.43	210.00	105.92%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de resistencia a la compresión del concreto con un 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro muestran un incremento progresivo a los diferentes períodos de curado de 7, 14 y 28 días, se obtuvieron resistencias promedio de 147.41, 179.56 y 222.35 kg/cm², respectivamente. Los cuales representan el 70.20%, 85.51% y 105.88% de la resistencia objetivo de $f'c = 210$ kg/cm².

Los resultados de resistencia a la compresión de todos los testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el período de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.3. Concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro.

La resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm² empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro, se detallan en la tabla 19.

Tabla 19

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm^2)		% de $f'c$		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según $f'c$	Obtenida	Según $f'c$	Resistencia (kg/cm^2)	% de $f'c$	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	257.37	26244	148.51	142.51	70.72%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	256.89	26195	148.23	142.51	70.59%	67.86%	148.76	70.84%	Sí cumple
3	29/01/2025	05/02/2025	7	259.17	26428	149.55	142.51	71.21%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	312.11	31826	180.10	176.25	85.76%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	311.81	31795	179.92	176.25	85.68%	83.93%	180.19	85.80%	Sí cumple
6	29/01/2025	12/02/2025	14	312.88	31904	180.54	176.25	85.97%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	397.34	40517	229.28	210.00	109.18%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	404.19	41215	233.23	210.00	111.06%	100.00%	231.22	110.10%	Sí cumple
9	29/01/2025	26/02/2025	28	400.57	40846	231.14	210.00	110.07%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el concreto con un 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro muestran un incremento progresivo en la resistencia a las diferentes edades de 7, 14 y 28 días, se obtuvieron resistencias promedio de 148.76, 180.19 y 231.22 kg/cm², respectivamente. Estos resultados representan el 70.84%, 85.80% y 110.10% de la resistencia objetivo, respectivamente. Se observa una tendencia ascendente en la resistencia a medida que aumenta el tiempo de curado.

Los resultados de resistencia a la compresión de todos los testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el periodo de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.4. Concreto con 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro.

La resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210$ kg/cm² empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro, se detallan en la tabla 20.

Tabla 20

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm^2)		% de $f'c$		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según $f'c$	Obtenida	Según $f'c$	Resistencia (kg/cm^2)	% de $f'c$	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	247.97	25286	143.09	142.51	68.14%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	247.27	25214	142.68	142.51	67.94%	67.86%	142.98	68.08%	Sí cumple
3	29/01/2025	05/02/2025	7	248.11	25300	143.17	142.51	68.17%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	305.5	31152	176.28	176.25	83.94%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	304.59	31059	175.76	176.25	83.69%	83.93%	176.24	83.92%	En el rango
6	29/01/2025	12/02/2025	14	306.21	31224	176.69	176.25	84.14%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	364.98	37217	210.61	210.00	100.29%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	362.97	37012	209.45	210.00	99.74%	100.00%	210.45	100.21%	En el rango
9	29/01/2025	26/02/2025	28	366.16	37337	211.29	210.00	100.61%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el concreto con un 1.25% de mucílago de cactus de San Pedro muestran un aumento de la resistencia a medida que aumenta el tiempo de curado. A la edad de 7, 14 y 28 días, se obtuvieron resistencias promedio de 142.98, 176.24 y 210.45 kg/cm², respectivamente. Estos valores representan el 68.08%, 83.92% y 100.21% de la resistencia objetivo, respectivamente. Esto indica una mejora continua en las propiedades mecánicas del concreto a medida que avanza el proceso de curado.

Los resultados de resistencia a la compresión de la mayoría de testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034 y en algunos casos se encuentran en el rango del 10% considerado para cilindros moldeados, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el periodo de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.5. Concreto con 1.50% de mucílago de penca de tuna.

La resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210$ kg/cm² empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 1.50% de mucílago de penca de tuna, se detallan en la tabla 21.

Tabla 21

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 1.50% de mucílago de penca de tuna

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm^2)		% de $f'c$		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según $f'c$	Obtenida	Según $f'c$	Resistencia (kg/cm^2)	% de $f'c$	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	248.87	25377	143.61	142.51	68.38%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	246.95	25181	142.50	142.51	67.86%	67.86%	142.99	68.09%	En el rango
3	29/01/2025	05/02/2025	7	247.58	25246	142.86	142.51	68.03%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	309.83	31593	178.78	176.25	85.13%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	309.13	31522	178.38	176.25	84.94%	83.93%	178.36	84.93%	Sí cumple
6	29/01/2025	12/02/2025	14	308.33	31440	177.92	176.25	84.72%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	375.22	38261	216.51	210.00	103.10%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	380.11	38760	219.34	210.00	104.45%	100.00%	217.64	103.64%	Sí cumple
9	29/01/2025	26/02/2025	28	376.16	38357	217.06	210.00	103.36%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de resistencia a la compresión del concreto con aditivo de 1.50% de mucílago de penca de tuna muestran un incremento progresivo a lo largo de los diferentes períodos de curado de 7, 14 y 28 días. En particular, se observaron resistencias promedio de 142.99, 178.36 y 217.64 kg/cm², respectivamente, representando el 68.09%, 84.93% y 103.64% de la resistencia objetivo de $f'_c = 210$ kg/cm².

Los resultados de resistencia a la compresión de la mayoría de testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034 y en algunos casos se encuentran en el rango del 10% considerado para cilindros moldeados, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el periodo de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.6. Concreto con 2.00% de mucílago de penca de tuna.

La resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 2.00% de mucílago de penca de tuna, se detallan en la tabla 22.

Tabla 22

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 2.00% de mucílago de penca de tuna

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm ²)		% de f'c		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según f'c	Obtenida	Según f'c	Resistencia (kg/cm ²)	% de f'c	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	251.47	25642	145.11	142.51	69.10%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	254.19	25920	146.68	142.51	69.85%	67.86%	145.90	69.48%	Sí cumple
3	29/01/2025	05/02/2025	7	252.87	25785	145.91	142.51	69.48%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	310.51	31663	179.17	176.25	85.32%	83.93%			Sí cumple
5	29/01/2025	12/02/2025	14	310.35	31646	179.08	176.25	85.28%	83.93%	179.31	85.39%	Sí cumple
6	29/01/2025	12/02/2025	14	311.38	31751	179.68	176.25	85.56%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	391.01	39871	225.63	210.00	107.44%	100.00%			Sí cumple
8	29/01/2025	26/02/2025	28	397.51	40534	229.38	210.00	109.23%	100.00%	227.14	108.16%	Sí cumple
9	29/01/2025	26/02/2025	28	392.39	40012	226.42	210.00	107.82%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de resistencia a la compresión del concreto con aditivo de 2.00% de mucílago de penca de tuna muestran una mejora progresiva a los diferentes períodos de curado de 7, 14 y 28 días. Se observaron resistencias promedio de 145.90, 179.31 y 227.14 kg/cm², respectivamente, representando el 69.48%, 85.39% y 108.16% de la resistencia de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Los resultados de resistencia a la compresión de todos los testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034, es decir, se encuentran entre los límites normativos. Ello muestra el adecuado progreso de resistencia a la compresión en el período de curado, lo que asegura un buen desempeño estructural, pues si los valores hubieran sido significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

5.1.5.7. Concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna.

La resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleadas en las cantidades determinadas en el diseño de mezcla para el concreto con aditivo de 2.50% de mucílago de penca de tuna, se detallan en la tabla 23.

Tabla 23

Ensayo de resistencia a la compresión $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ de testigos de concreto con aditivo de 2.50% de mucílago de penca de tuna

N°	Fecha		Edad (días)	Lectura (KN)	Lectura (kg)	Resistencia (kg/cm ²)		% de f'c		Promedio		Observación
	Moldeo	Rotura				Obtenida	Según f'c	Obtenida	Según f'c	Resistencia (kg/cm ²)	% de f'c	
1	29/01/2025	05/02/2025	7	247.51	25239	142.82	142.51	68.01%	67.86%			Sí cumple
2	29/01/2025	05/02/2025	7	245.85	25069	141.86	142.51	67.55%	67.86%	142.60	67.90%	En el rango
3	29/01/2025	05/02/2025	7	248.01	25290	143.11	142.51	68.15%	67.86%			Sí cumple
4	29/01/2025	12/02/2025	14	304.89	31090	175.93	176.25	83.78%	83.93%			En el rango
5	29/01/2025	12/02/2025	14	305.52	31154	176.29	176.25	83.95%	83.93%	176.25	83.93%	Sí cumple
6	29/01/2025	12/02/2025	14	305.95	31198	176.54	176.25	84.07%	83.93%			Sí cumple
7	29/01/2025	26/02/2025	28	362.23	36937	209.02	210.00	99.53%	100.00%			En el rango
8	29/01/2025	26/02/2025	28	360.18	36728	207.84	210.00	98.97%	100.00%	208.99	99.52%	En el rango
9	29/01/2025	26/02/2025	28	364.11	37128	210.10	210.00	100.05%	100.00%			Sí cumple

Los resultados de la resistencia a la compresión para el concreto con 2.50% de mucílago de penca de tuna muestran un aumento a medida que transcurre el tiempo de curado. A la edad de 7, 14 y 28 días, se obtuvieron resistencias promedio de 142.60, 176.25 y 208.99 kg/cm², respectivamente; estos valores representan el 67.90%, 83.93% y 99.52% de la resistencia de $f'c = 210$ kg/cm².

Los resultados de resistencia a la compresión de la mayoría de testigos muestreados cumplen con lo establecido en la NTP 339.034 y en algunos casos se encuentran en el rango del 10% aceptable para cilindros moldeados. Además, a los 28 días los testigos se encuentran ligeramente por debajo de los 210 kg/cm², pero en el rango permitido. Ello muestra el progreso aceptable de resistencia a la compresión en el periodo de curado, esto asegura el desempeño estructural, pues si fueran significativamente menores, la capacidad portante se vería comprometida, afectando la seguridad y durabilidad de las construcciones.

A continuación, se detalla en la tabla 24 la variación porcentual de la resistencia a la compresión, tanto del concreto patrón y mucílago de cactáceas en sus diferentes porcentajes:

Tabla 24

Variación de la resistencia a la compresión del concreto patrón y mucílago de cactáceas.

Variación de resistencia a la compresión con respecto al patrón a los 28 días							
Descripción	Patrón	Incorporación de mucílago de cactus de san pedro			Incorporación de mucílago de penca de tuna		
		0.75%	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%	2.50%
Promedio de la resistencia (kg/cm ²)	212.52	222.35	231.22	210.45	217.64	227.14	208.99
Incremento de resistencia	0.00	9.83	18.70	-2.07	5.12	14.62	-3.53
Porcentaje de variación (%)	-	4.63 %	8.80%	-0.97 %	2.41 %	6.88%	-1.66%

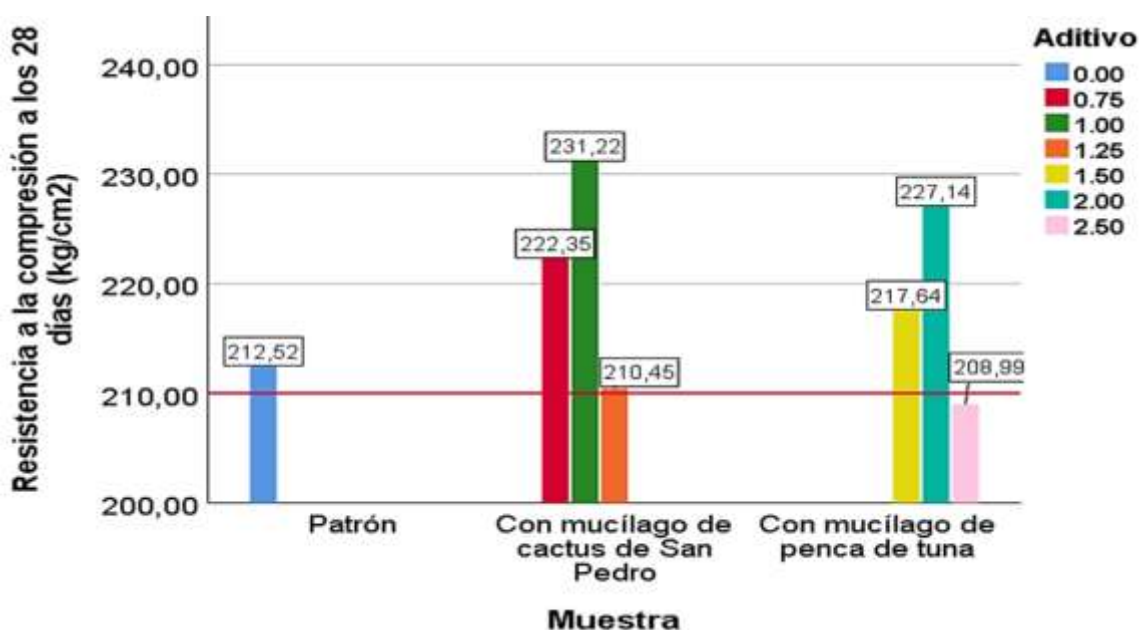
5.2. Prueba de hipótesis

5.2.1. Resistencia a la compresión del concreto

A continuación, se compara el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al incluir aditivo de mucilago de cactáceas.

Figura 24

Resistencia a la compresión del concreto patrón y con mucilago de cactáceas



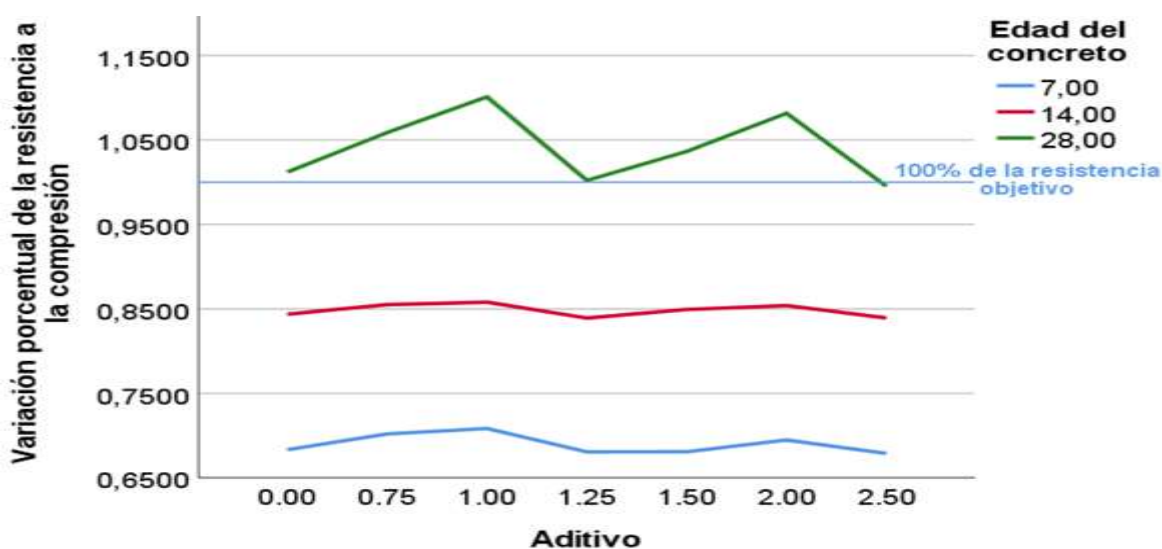
De la figura 24 se observa que, la resistencia a la compresión del concreto con 1.00% de mucilago de cactus de San Pedro alcanza un valor máximo de $f^c = 231.22 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días y con 2.00% de mucilago de penca de tuna alcanza un valor máximo de $f^c = 227.14 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días. Lo cual indica que cantidades menores o superiores al 1.00% de aditivo de mucilago de cactus de San Pedro o 2.00% de aditivo de penca de tuna generan valores menores de resistencia a la compresión, sin embargo, los valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros aceptables de resistencia a la compresión para el diseño de concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

En general, a los 28 días los resultados de resistencia a la compresión se encuentran dentro de los parámetros permitidos admitidos por la NTP 339.034. También se expuso que la resistencia máxima se obtuvo al adicionar el 1.00% de mucilago de cactus de San Pedro

o un 2.00% de mucilago de penca de tuna, observándose que menores o mayores porcentajes de aditivo genera valores inferiores de resistencia pero aceptables. Por lo que el concreto mantiene sus propiedades estructurales, pues si fueran menores al mínimo, se comprometería la capacidad portante y afectaría el desempeño estructural al ser sometido a cargas.

Figura 25

Variación porcentual de resistencia a la compresión por edad del concreto patrón y aditivo de mucilago de cactáceas



De la figura 25, se observa un comportamiento progresivo en la variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días. Observándose que el concreto con 1.00% de mucilago de cactus de San Pedro alcanza un valor porcentual de 110.10 % de la resistencia objetivo, resultando el óptimo.

Teniendo en cuenta que el ANOVA es una técnica estadística que permite comparar las medias de tres o más grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellos. En este estudio, se empleó ANOVA debido a que se evaluaron múltiples concentraciones de mucílago (0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%, 2.00%, 2.50%) y se deseaba comprobar si estas concentraciones afectan significativamente la resistencia a la compresión del concreto.

Por lo tanto, para evaluar la influencia de la incorporación de mucilago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023; comparar y determinar la existencia de diferencias significativas entre las resistencias logradas con los diferentes porcentajes de aditivo de mucilago de cactáceas, en seguida se aplica el análisis de varianza, para lo cual se formula las siguientes hipótesis estadísticas.

H₀ : La incorporación de mucilago de cactáceas no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023.

H_a : La incorporación de mucilago de cactáceas influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023.

Considerando como regla de decisión que si el nivel de significancia es mayor a 0.05, se aceptara la hipótesis nula, caso contrario la alterna.

Tabla 24

ANOVA de la resistencia a la compresión del concreto patrón y con aditivo de mucilago de cactáceas a los 28 días

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1328.936	6	221.489	87.675	0.000
Dentro de grupos	35.368	14	2.526		
Total	1364.303	20			

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para comparar la resistencia a la compresión del concreto patrón y del concreto con aditivo de mucilago de cactáceas arroja un valor F de 87.675 y un valor p de 0.000. Dado que el nivel de significancia es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula (H₀) y aceptar la hipótesis alternativa (H_a). Esto indica que la incorporación de mucilago de cactáceas influye significativamente en la

resistencia a la compresión del concreto, específicamente para una resistencia objetivo de $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, lo que sugiere su utilidad como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

Tabla 25

Prueba post-hoc Tukey de la resistencia a la compresión del concreto patrón y con aditivo de mucílago de cactáceas a los 28 días

(I) Aditivo	(J) Aditivo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0.00	0.75	-9.83000*	1.29776	0.000	-14.2613	-5.3987
	1.00	-18.70000*	1.29776	0.000	-23.1313	-14.2687
	1.25	2.06667	1.29776	0.689	-2.3646	6.4980
	1.50	-5.12000*	1.29776	0.019	-9.5513	-0.6887
	2.00	-14.62667*	1.29776	0.000	-19.0580	-10.1954
	2.50	3.53000	1.29776	0.164	-0.9013	7.9613
0.75	1.00	-8.87000*	1.29776	0.000	-13.3013	-4.4387
	1.25	11.89667*	1.29776	0.000	7.4654	16.3280
	1.50	4.71000*	1.29776	0.034	0.2787	9.1413
	2.00	-4.79667*	1.29776	0.030	-9.2280	-0.3654
	2.50	13.36000*	1.29776	0.000	8.9287	17.7913
1.00	1.25	20.76667*	1.29776	0.000	16.3354	25.1980
	1.50	13.58000*	1.29776	0.000	9.1487	18.0113
	2.00	4.07333	1.29776	0.081	-0.3580	8.5046
	2.50	22.23000*	1.29776	0.000	17.7987	26.6613
1.25	1.50	-7.18667*	1.29776	0.001	-11.6180	-2.7554
	2.00	-16.69333*	1.29776	0.000	-21.1246	-12.2620
	2.50	1.46333	1.29776	0.909	-2.9680	5.8946
1.50	2.00	-9.50667*	1.29776	0.000	-13.9380	-5.0754
	2.50	8.65000*	1.29776	0.000	4.2187	13.0813
2.00	2.50	18.15667*	1.29776	0.000	13.7254	22.5880

Nota. *. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

La prueba post-hoc de Tukey se empleó para comparar la resistencia a la compresión y si estas varían significativamente entre cada uno de los porcentajes de aditivo de mucilago de cactáceas. Observándose que adicionar 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro o 2.00% de mucílago de penca de tuna permiten alcanzar niveles más altos de resistencia. Asimismo, estos valores al ser comparados con las resistencias alcanzadas en las demás proporciones permitieron determinar que existen diferencias con el concreto patrón y con aditivo de 0.75%, 1.00%, 1.50% y 2.50% de aditivo de mucilago de cactáceas, pero al adicionar 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro o 2.00% de mucílago de penca de tuna estas no generan diferencias significativas de resistencia a la compresión.

Además, esto respalda que la incorporación de aditivo de mucilago de cactáceas influye en la resistencia a la compresión. Del mismo modo, la disminución para valores inferiores o superiores al 1.00% o 2.00% de mucilago puede explicarse por la ligera variación de la relación agua-cemento o en la formación de la matriz cementante, lo que afectó la cohesión del concreto. Finalmente, la significancia de 0.000 expone que existen diferencias significativas entre las varias comparaciones realizadas, confirmándose que la proporción de aditivo cumple un rol determinante en la resistencia a la compresión final del concreto.

5.3. Discusión de resultados

La evaluación de la influencia del mucílago de cactáceas en la resistencia a la compresión del concreto con $f'c$ de 210 kg/cm² mostró que la adición de 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro y 2.00% de mucílago de penca de tuna alcanzó las mayores resistencias sin diferencias significativas entre ellas, según la prueba post-hoc de Tukey, el valor de significancia de 0.000 confirma que la cantidad de aditivo influye de manera determinante en la resistencia a la compresión final del concreto.

Del mismo modo, los resultados obtenidos para el concreto con un 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro, que mostraron una resistencia promedio de 231.22 kg/cm² a los 28 días y con 2.00% de mucílago de penca de tuna alcanza los 227.14 kg/cm² a los 28 días, indican una mejora considerable respecto al concreto patrón, que alcanzó solo 212.52 kg/cm² en el mismo período. Este incremento sugiere que el mucílago no solo contribuye a la cohesión del material, sino que también puede mejorar la microestructura del concreto, bloqueando poros y reduciendo la permeabilidad, tal como indicaron Torres-Acosta y Díaz-Cruz (2020). Estos hallazgos son consistentes con la literatura, donde se documenta que el mucílago de nopal y otros derivados de cactáceas pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto, aunque con algunas variaciones en función de la concentración del aditivo.

Al comparar los resultados de esta investigación con los hallazgos de estudios como los de Kammoun y Trabelsi (2019), que encontraron una ligera disminución en la resistencia a la compresión al agregar fibras de penca de tuna, se observa que la adición de mucílago de cactus de San Pedro puede ofrecer ventajas en términos de resistencia, a pesar de que algunas fibras vegetales tienden a reducirla. Por otro lado, los resultados de Soto (2023) también respaldan la idea de que el mucílago mejora las propiedades del concreto, ya que se reportó una resistencia a la compresión de 445.3 kg/cm² con un 2% de mucílago de nopal, lo que es

coincidente con el resultado del estudio, resaltando que la efectividad del mucílago puede depender de la especie y la concentración utilizada.

La tendencia observada en el aumento progresivo de la resistencia a medida que se prolonga el tiempo de curado es coherente con lo que se espera en el comportamiento del concreto. A los 28 días, casi todos los concretos incorporados con mucílago superaron el 100% de la resistencia objetivo, solo el 2.5% de mucilago de penca de tuna dio un 99.52% de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, lo que evidencia un efecto positivo del mucílago en el desarrollo de la resistencia, similar a lo reportado por Huerta (2020), donde se destacó la mejora en la fluidez y resistencia a la compresión del concreto con el uso de gel de cactus.

Es importante mencionar que, aunque el 2.50% de mucílago de penca de tuna mostró un aumento en la resistencia, sus valores no alcanzaron la resistencia objetivo de 210 kg/cm^2 . Esto sugiere que el nivel de aditivo debe ser optimizado, y que existe un umbral más allá del cual la adición de mucílago podría no ser beneficiosa. Esto es consistente con las observaciones de Castro (2022), donde la resistencia a la compresión disminuyó con mayores concentraciones de mucílago, lo que indica que se debe encontrar un balance adecuado entre la trabajabilidad y la resistencia del concreto.

En consecuencia, la incorporación de mucílago de cactáceas, especialmente el aditivo de 1.00% de mucilago de cactus de San Pedro y el 2.00% de mucilago de penca de tuna, parecen influir positivamente en la resistencia a la compresión del concreto, lo cual se evidenció con la prueba post-hoc Tukey (0.000) al comparar con el concreto patrón y los demás porcentajes de aditivo. Sin embargo, es importante continuar y ampliar la investigación sobre las proporciones óptimas y la interacción del mucílago con otros componentes del concreto para maximizar sus beneficios en aplicaciones prácticas. Finalmente, se determinó que en la mayoría de casos se cumple con lo establecido en la NTP 339.034, ya que el procedimiento seguido y los resultados se encuentran dentro de la norma

y en algunos casos se encuentran en el rango del 10% considerado para cilindros moldeados, es decir, se encuentran entre los límites normativos

En lo que respecta a la trabajabilidad, se obtuvo que el uso de mucílago de cactus de San Pedro y de penca de tuna no generó variaciones significativas en la trabajabilidad del concreto, obteniendo una fluidez y cohesión adecuada en todas las mezclas. En particular, la adición de 2.50% de mucílago de penca de tuna proporcionó una mezcla con un slump igual de consistente y manejo al concreto patrón, pero los demás casos redujeron el slump pero sin afectar negativamente la trabajabilidad pues se encontraron en los límites aceptables. Estos resultados sugieren que ambos tipos de mucílago mantienen las características de trabajabilidad del concreto fresco, facilitando su colocación y consolidación en obras constructivas.

Al respecto, Castro (2022) encontró que la adición de 1.5% de mucílago de nopal aumentó la trabajabilidad al incrementar la consistencia de la mezcla de concreto de 3" a 3 3/4". Similarmente, Soto (2023) reportó una mejora en la trabajabilidad con un 2% de mucílago, obteniendo un slump optimizado que mejoró el manejo de la mezcla. Sin embargo, Bañez y Veramendi (2021) observaron que aunque el mucílago de cactus y el superplastificante aumentaron la resistencia, la manejabilidad del concreto disminuyó con mayores concentraciones de estos aditivos, destacando la importancia de encontrar un equilibrio adecuado para mejorar la trabajabilidad sin comprometer otras propiedades.

Los resultados son coherentes con los de la literatura, ya que todos los estudios coinciden en que los aditivos naturales como el mucílago mejoran la trabajabilidad del concreto. Sin embargo, la variabilidad en las concentraciones utilizadas sugiere que existe un límite a partir del cual los beneficios en la manejabilidad disminuyen, afectando negativamente otras propiedades, como la resistencia a la compresión. Por lo tanto, una dosificación óptima debe ser un factor clave para maximizar las ventajas en la trabajabilidad

sin comprometer el rendimiento estructural. Finalmente, los ensayos cumplen lo establecido en la NTP 339.035, así como los resultados están dentro de los valores permitidos o recomendados por la norma.

Con respecto a los resultados del peso unitario se puede afirmar que, el uso de mucílago de cactus de San Pedro y penca de tuna no mostró una variación significativa en el peso unitario del concreto. Aunque los resultados indicaron una ligera reducción en la densidad, esta no fue lo suficientemente significativa como para implicar un cambio notable en las características del concreto. El peso unitario se mantuvo dentro de los rangos aceptables para mezclas convencionales, lo cual sugiere que estos aditivos no alteran considerablemente el peso del concreto.

De la misma forma, Kammoun y Trabelsi (2019) indicaron que la adición de fibras de penca de tuna resultó en una disminución del 25% en el peso del concreto, lo que contrasta con los resultados obtenidos en este estudio, donde no se observó una reducción tan significativa. Aquilina et al. (2018), por otro lado, encontraron que el uso de materiales orgánicos como hojas de olivo optimizó algunas propiedades del concreto sin afectar notablemente su peso, alineándose con los resultados presentados para el mucílago.

Si bien la reducción del peso unitario puede ser un beneficio potencial, los resultados obtenidos muestran que los mucílagos no alteran significativamente este parámetro, a diferencia de lo reportado por Kammoun y Trabelsi (2019). Esto sugiere que la composición y concentración de los aditivos influyen directamente en la densidad final del concreto. La menor variabilidad observada en los resultados actuales podría deberse a la formulación particular de las mezclas o a las características específicas del mucílago empleado. Finalmente, la disminución observada en el peso unitario no presenta valores fuera de los considerados en la NTP 339.046, pues se cumplieron con los procedimientos recomendados y los resultados se encuentran dentro de los parámetros recomendados.

En lo concerniente a la exudación se tiene que, la incorporación de mucílago de cactus de San Pedro y penca de tuna en porcentajes bajos redujo la exudación y a medida que se aumentó el aditivo la exudación del concreto tubo una tendencia de reducción, es decir, la exudación se iba disminuyendo a medida que se agregaba mayor cantidad de aditivo de mucilago. Con un 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro, así como 2.00% de penca de tuna, se lograron resultados de exudación muy cercanos a los del concreto patrón en las primeras horas después de la mezcla. Este fenómeno se debe a que los mucílagos forman una matriz más cohesiva, lo que previene la segregación de los componentes del concreto y reduce la cantidad de agua superficial.

Por su parte, Manríquez (2018) reportó una reducción del 20% en la exudación al utilizar un 2.6% de mucílago de nopal, lo cual confirma la tendencia observada en este estudio. Además, Torres-Acosta y Díaz-Cruz (2020) señalaron que los derivados del nopal bloquean los poros en la matriz del cemento, lo que contribuye a la reducción del transporte de agua y la exudación. Estos resultados son convergentes con los obtenidos, ya que el mucílago de cactus actúa de manera similar, siguiendo una tendencia de reducción.

Los resultados obtenidos muestran que el mucílago de cactus y penca de tuna fueron efectivos para reducir la exudación, en línea con lo reportado por otros estudios. Sin embargo, la disminución en la exudación podría conllevar ciertos desafíos en la manejabilidad y tiempo de fraguado, como lo reportaron Aquilina et al. (2018) con la adición de OFI. Es importante considerar que, el incremento de la exudación puede ser beneficiosa hasta cierto punto, para la durabilidad es importante una dosificación adecuada para mantener un balance en las propiedades del concreto. Finalmente, los ensayos cumplieron con lo establecido en la NTP 339.077, tanto a nivel de procedimientos, como de resultados, es decir la disminución en los niveles de exudación están dentro de los parámetros aceptables.

VI. Conclusiones

Primera: La incorporación de mucílago de cactáceas demostraron una influencia significativa y positiva en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Andahuaylas, 2023. Pues, el concreto con 1.00% de mucílago de cactus de San Pedro y el de 2.00% de mucilago de penca de tuna aumentaron la resistencia a la compresión a $f'c = 231.22$ kg/cm² en un 8.80 % y $f'c = 227.14$ kg/cm² en 6.88 % respectivamente, en comparación con el concreto patrón, superando la resistencia objetivo de 210 kg/cm². Lo que quiere decir que los mucílagos de cactus de San Pedro y de penca de tuna son beneficiosos para mejorar la resistencia estructural del concreto, pues las resistencias obtenidas cumplen con lo parámetros establecidos en la NTP 339.034.

Segunda: La adición de mucílago de cactáceas modifica la trabajabilidad del concreto de manera variable dependiendo al tipo y cantidad utilizada. En el caso del mucílago de cactus de San Pedro, se observó una reducción en el slump a 3'' con el aditivo del 1.00% y un mayor slump en concentraciones inferiores o superiores. Mientras que para el aditivo de 2.00% de mucílago de penca de tuna disminuye a 3 1/4'', la trabajabilidad y a proporciones menores o mayores se presenta una mayor trabajabilidad. Los resultados cumplen con la norma ASTM C-143 y la NTP 339.035, y sugieren que el mucílago influye en la consistencia del concreto sin comprometer su colocación y compactación.

Tercera: El aditivo de mucílago de cactáceas en el diseño de concreto genera una reducción progresiva en el peso unitario, la cual es observada en todos los porcentajes empleados. Sin embargo, a pesar de esta reducción los valores se encuentran entre los valores establecidos en la norma ASTM C-138 y la NTP 339.046. Se registró un peso unitario de 2396.25 kg/m³ en el concreto patrón,

disminuyendo a 2378.38 kg/m³ con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro, a 2345.66 kg/m³ con 1.25% y alcanzando 2307.16 kg/m³ con 1.50% de mucílago de penca de tuna, hasta un mínimo de 2265.67 kg/m³ con 2.50%. Esta disminución podría relacionarse con la incorporación de aire en la mezcla o las variaciones en la densidad del concreto, por lo que es importante el control de este parámetro para garantizar el desempeño mecánico del concreto.

Cuarta: La adición de mucílago de cactáceas genera una disminución progresiva en la exudación, es decir en la cantidad de agua segregada en la superficie del concreto fresco. Los valores obtenidos cumplen con los límites establecidos por la NTP 339.077, lo cual garantiza que no haya exceso de exudación a causa de la adición de mucilago. Se observó que el concreto patrón presentó una exudación del 0.38%, reduciéndose a 0.33% con 0.75% de mucílago de cactus de San Pedro y reduciéndose progresivamente hasta 0.22% con 1.25%. Con mucílago de penca de tuna, la exudación varió desde 0.35% con 1.50% de aditivo hasta 0.25% con 2.50%. Por lo que, la cohesión de la mezcla, la resistencia del material y la disminución de riesgo de fisuras en estado endurecido son adecuados.

VII. Recomendaciones

- Primera:** Para la comunidad científica en general, se recomienda realizar estudios adicionales sobre el uso de mucílago de cactáceas, como el mucílago de cactus de San Pedro y el mucílago de penca de tuna, como aditivos en la mezcla de concreto. Estos estudios deben enfocarse en diversas proporciones y en la variabilidad de resultados bajo diferentes condiciones climáticas y de humedad. Tal investigación podría revelar mejoras significativas en la resistencia estructural del concreto, ofreciendo una alternativa viable y sostenible frente a los aditivos comerciales, que suelen ser costosos.
- Segunda:** Para los ingenieros civiles, se sugiere investigar más a fondo la relación entre la concentración de mucílago de cactáceas y la trabajabilidad del concreto. Este análisis debe considerar factores como temperatura y humedad ambiental durante la mezcla y el curado. Al optimizar la trabajabilidad, se puede mejorar la eficiencia en la colocación del concreto, lo que potencialmente reduce costos laborales y de tiempo en comparación con los aditivos comerciales, que pueden no adaptarse a las condiciones locales.
- Tercera:** Para los ingenieros civiles, se recomienda evaluar el impacto del mucílago de cactáceas en la densidad y el peso unitario del concreto en diversas aplicaciones estructurales. Determinar cómo estos cambios influyen en la resistencia y durabilidad permitirá desarrollar mezclas de concreto que mantengan o mejoren las propiedades mecánicas, al tiempo que se reduce la dependencia de aditivos comerciales costosos, mejorando así la economía del proyecto.
- Cuarta:** Para los ingenieros civiles, se sugiere realizar estudios sobre el efecto de la exudación en la estabilidad de las mezclas de concreto que contienen mucílago de cactáceas. Identificando porcentajes óptimos para la formulación de mezclas.

Esto podría resultar en un concreto más estable y confiable, reduciendo la necesidad de aditivos comerciales que a menudo aumentan los costos.

VIII. Referencias

- Aquilina, A., Borg, R. P., & Buhagiar, J. (2018). The application of Natural Organic Additives in Concrete: Opuntia ficus-indica. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 442, 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/442/1/012016>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Editorial Episteme C.A.
- Ayquipa Román, L. (2021). *Influencia de los métodos de curados con mucílagos naturales en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay, 2019* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica de Los Andes].
<https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/287/1/Influencia%20de%20los%20m%C3%A9todos%20de%20curados%20con%20muc%C3%ADlagos%20naturales%20en%20la%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20concreto.pdf>
- Bañez Vega, C. M., & Veramendi Gómez, E. G. (2021). *Influencia en el ensayo a compresión del concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ adicionando mucílago de penca de tuna y superplastificante Sika, Huaraz-Ancash-2021* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65425>
- Canchanya Reyes, W. (2021). *Influencia de la temperatura del agua de mezclado en las propiedades del concreto, en el distrito de Apata Chicche – Jauja – Junin* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Los Andes].
https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/2928/T037_72845330_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Carrillo, J., Alcocer, S. M., & Aperador, W. (2013). Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(2), 285-298. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72243-1](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72243-1)
- Castro Tineo, J. (2022). *Influencia del mucílago de nopal en la evaluación del concreto f'c=210 kg/cm2, San Juan de Miraflores 2022* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/109043/4/Castro_TJ-SD.pdf
- CEMEX Perú. (2019, abril 5). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* CEMEX Perú. <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- Cueva Culque, I. M. (2021). *Análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión y consistencia del concreto estructural con aditivos naturales en Trujillo* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30452/Tesis.pdf?seq>
- Díaz-Blanco, Y., Menchaca-Campos, C., Rocabrúno-Valdes, C. I., & Uruchurtu-Chavarín, J. (2019). Influencia de un aditivo natural (mucílago de nopal) en las propiedades electroquímicas del acero de refuerzo del concreto. *Rev. ALCONPAT*, 9(3), 260-276. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352019000300260&script=sci_abstract
- Espino Rodríguez, E. P., Rafael Ramírez, H., & Tingal Infante, I. (2012). *Morfofisiología de tuna (Opuntia ficus-indica Mill.)* [Tesina, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2853/TUNA%20FIN%20AL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2da ed.). Editorial Mc Graw Hill Education.
- Huerta Maza, M. A. (2020). *Uso del extracto del mucilago del cactus como aditivo y su influencia en la consistencia y en la resistencia a la compresión del concreto* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4363/HUERTA%20MAZA%20MAX%20ANDERSON%20-%20DOCTORADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INACAL. (2002). *NTP 400.020: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles* (3ra ed.). Dirección de Normalización - INACAL. <https://es.scribd.com/document/521703229/NTP-400-020-2002-ABRACION>
- INACAL. (2013). *NTP 339.183. CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio* (2da ed.). Dirección de Normalización - INACAL. <https://pdfcoffee.com/ntp-339183-2013pdf-2-pdf-free.html>
- INACAL. (2015). *NTP 339.034. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas* (4ta ed.). Dirección de Normalización - INACAL. <https://es.scribd.com/document/417389764/Ntp-339-034-Metodo-de-Ensayo->

Normalizado-Para-La-Determinacion-de-La-Resistencia-a-La-Compresion-Del-
Concreto-en-Muestras-Cilindricas

- INACAL. (2017). *NTP 339.036.2017. CONCRETO. Practica Normalizada para Muestreo de Mezclas de Concreto Fresco* (4ta ed.). Dirección de Normalización - INACAL.
<https://pdfcoffee.com/ntp-3390362017-concreto-practica-normalizada-para-muestreo-de-mezclas-de-concreto-fresco-4-pdf-free.html>
- INDECOPI. (2014). *NTP 339.128. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico* (1ra ed.).
- INDECOPI. (2018). *NTP 400.037. AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos* (4ta ed.).
- Inga Julca, T. G. (2019). *Influencia de la adición de mucílago de nopal (Opuntia ficus-índica) en las propiedades mecánicas del concreto permeable* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3339>
- Innovación y Desarrollo Sostenible Latinoamericano S.A.C. - INNDE. (2023). *Resultados de ensayos de laboratorio*. INNDE.
- Kammoun, Z., & Trabelsi, A. (2019). Development of lightweight concrete using prickly pear fibres. *Construction and Building Materials*, 210, 269-277.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.167>
- Luna-Zapién, E. A., Zegbe, J. A., Meza-Velázquez, J. A., & Minjares-Fuentes, R. (2023). mucílago de nopal (*Opuntia spp.*) y su aplicación como aditivo alimentario: Una visión general. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(1), 51.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.51>
- Manríquez Novoa, F. (2018). *Evaluación del mucílago de nopal para disminuir las fisuras causadas por retracción plástica en el hormigón* [Tesis de Licenciatura, Universidad

de Valparaíso].

https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2636/MANRIQUEZ%20NOVOA%20FABRISIO%20%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20mucilago%20de%20nopal%20para%20disminuir%20las%20fisuras%20causadas%20por%20retracci%C3%B3n%20pl%C3%A1stica%20en%20el%20hormig%C3%B3n_noaccesible_.pdf?sequence=1

Matallana Rodríguez, R. (2017). *El concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías*. Constructora Concreto.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2016). *Design of reinforced concrete* (Tenth edition). Wiley.

Nilson, A. H., & Darwin, D. (1997). *Design of concrete structures* (12th ed). McGraw-Hill.

Norma E-060. (2019). *Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>

Ñaupas Paitán, H., Palacios Vileta, J. J., Romero Delgado, H. E., & Valdivia Dueñas, M. R. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5ta ed.). Ediciones de la U. <http://www.ebooks7-24.com/?il=8046>

Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: Una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista ingeniería de construcción*, 33(2), 161-172. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000200161

Pariona Poma, B. K. (2023). *Influencia que tiene el uso del mucilago de nopal macerado en las propiedades mecánicas del concreto en pavimento rígido, Ayacucho, 2023* [Tesis

- para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114980>
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (2da ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.
- Pino Gotuzzo, R. (2018). *Metodología de la investigación: Elaboración de diseños para contrastar hipótesis* (2da ed.). Ediciones San Marcos.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. J. (2014). *Manual Del Concreto Estructural* (1ra ed.). PAG Marketing Soluciones.
<https://pe56d.s3.amazonaws.com/p193k6ak6nqf8199a17uh1lukueue9.pdf>
- Quiliche, J., & Cachi Cerna, G. (2020). Resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm², adicionando puzolana volcánica, Cajamarca 2019. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy". The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy".
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.442>
- Soto Juscamayta, L. M. (2023). *Efectos de la adición de mucilago de nopal en las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional $f'c=210$ kg/cm² con fines de pavimento rígido, Ayacucho, 2022* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/672f521a-d779-40ca-ae64-3686f885acb5/content>

- Tamayo Ly, C., & Silva Siesquén, I. (2022). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote: Departamento Académico de Metodología de la Investigación. <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/>
- Torres Acosta, A. A. (2017, enero 18). *La adición de nopal a los materiales de construcción aumenta su durabilidad*. IResiduo. <https://iresiduo.com/noticias/mexico/conacyt/17/01/18/adicion-nopal-materiales-construccion-aumenta-durabilidad>
- Torres-Acosta, A. A., & Díaz-Cruz, L. A. (2020). Concrete durability enhancement from nopal (*opuntia ficus-indica*) additions. *Construction and Building Materials*, 243, 118170. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118170>
- Valverde Cortez, A. A. (2023). *Determinación de la resistencia a compresión axial del concreto estructural $f'c=210$ kg/cm² integrando a la mezcla como aditivo natural el mucílago de penca de tuna en la ciudad de Abancay, 2022* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica de Los Andes]. https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/492/1/Determinaci%c3%b3n%20de%20la%20resistencia%20a%20compresi%c3%b3n%20axial_Valverde_%20Astrid%20A.pdf
- Vásquez Bustamante, O. (2011). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Nelsa.