

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES**



Tesis

**Influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de
óxido de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024**

Asesor:

Mg. Salas Peña, Vanesa

Autores:

Ticona Aro, Xina Ninoska

Huaco Ramos, Jean Carlos

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 040

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 08 días del mes de mayo del 2026, siendo las 11:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 086-2026-UTEA-FI-EPIARN de fecha 27 de abril del 2026 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Dr. Alarcón Camacho Juan
Dictaminante :	Mg. Vargas Amiquero, Milagros Carolina
Replicante :	Mg. Roldan Juárez Américo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: "Influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxido de nitrógeno en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024"

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Ticona Aro, Xina Ninoska
(Apellidos y Nombres)

Br.: Huaco Ramos, Jean Carlos
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

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

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Ticona Aro, Xina Ninoska	Aprobado
Huaco Ramos, Jean Carlos	Aprobado

Siendo la 1:00p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente : Dr. Alarcón Camacho, Juan
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Vargas Amiquero, Milagros Carolina
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante : Mg. Roldan Juárez, Américo
(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



Página 2 de 246 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:oid::3117:597123464

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 246 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:oid::3117:597123464

Metadatos

Datos Del Autor		
Apellido y Nombres	:	Ticona Aro, Xina Ninoska
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento Nacional de Identidad (DNI)
Número de Documento de Identidad	:	76243225
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-7165-3002
Apellido y Nombres	:	Huaco Ramos, Jean Carlos
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento Nacional de Identidad (DNI)
Número de Documento de Identidad	:	48819850
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0003-9685-6080
Datos Del Asesor		
Apellido y Nombres	:	Salas Peña, Vanesa
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento Nacional de Identidad (DNI)
Número de Documento de Identidad	:	70144718
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0003-3734-6278
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de la investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	6%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/forg#2.07.01

Dedicatoria

A Dios, que guía mi camino; a mi madre, Nimia por su amor incondicional y su lucha constante; a mis hermanas, Songmy y Rouss mis compañeras de vida; a mis abuelos, Juan de Dios y Juana por enseñarme el valor de la vida; a mis tíos, Edwin, Edith, Humberto, Wily y William, por darme el amor, la confianza y el sacrificio que me brindaron, espero enorgullecerlos; a mis primas, Dasha y Mei, por brindarme cada sonrisa.

Xina Ninoska Ticona Aro

Dedicatoria

Dios padre todo poderoso, por darme la vida, la fortaleza y sabiduría para culminar esta importante etapa de mi vida; a mi madre, Valentina Ramos Ballón por su amor incondicional y ejemplo de esfuerzo y a mis hermanos por su apoyo constante; a mí mismo, por la perseverancia y el sacrificio que me permitió seguir adelante.

Jean Carlos Huaco Ramos

Agradecimiento

- Mi más profundo agradecimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes y a la Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, por abrirme las puertas; brindarme la formación académica, los valores profesionales y las competencias necesarias para el desarrollo de mi formación universitaria.
- A mi asesora Mg. Vanesa Salas Peña, por su guía constante y confianza durante este proceso de la investigación.
- De manera especial, expresa su sincero agradecimiento al Dr. Arturo Quispe Quispe, por su orientación, apoyo profesional y compromiso durante el proceso investigativo.
- A mis amigos (as), por el apoyo constante durante este proceso.
- Finalmente, reconocer a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, hicieron posible la culminación de esta investigación.

Resumen

La investigación tiene como objetivo determinar la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, la investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel correlacional, de diseño experimental; la población estuvo conformada por 60 probetas, la muestra de un total de 20 probetas por ensayo, seleccionadas mediante el muestreo no probabilístico.

Los resultados obtenidos para la mitigación con el indicador de rodamina b en el concreto en las concentraciones a las 4 horas del 0%, 14.14%; al 3% , 98.13%; al 6%, 98.04% y al 9%, 99.05%; y las 26 horas en 0%, 15.43; 3%, 99.18; al 6% , 98.60 y al 9%, 99.95; y finalmente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en el concreto con concentraciones a las 4 horas del 0%, 4.71; al 3% ,9.80; en un 6%, 35.761 y del 9%, 42.01 y por ultimo a las 26 horas al 0%, 4.81; 3%, 13.85; 6%, 52.10 y al 9%, 62.54,

Se concluye que a mayor concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio favorece la eficiencia del proceso alcanzando su mayor efectividad en las muestras de 6 % y 9%, ya que se observa una mayor decoloración notable, de acuerdo con la norma UNI 11259, evidenciando un adecuado proceso fotocatalítico y capacidad para mitigar el contaminante.

Palabras claves: fotocatalizador, dióxido de titanio, mitigación, óxidos de nitrógeno.

Abstract

The objective of the research is to determine the influence of the titanium dioxide photocatalyst in concrete for the mitigation of nitrogen oxides in the city of Abancay – Apurímac. The study was carried out using a quantitative approach, applied type, correlational level, and experimental design. The population consisted of 60 specimens, and the sample included a total of 20 specimens per test, selected through non-probabilistic sampling.

The results obtained for mitigation using the rhodamine B indicator in concrete at concentrations over 4 hours were: at 0%, 14.14%; at 3%, 98.13%; at 6%, 98.04%; and at 9%, 99.05%. At 26 hours, the values were 0%, 15.43; 3%, 99.18; 6%, 98.60; and 9%, 99.95. Finally, for nitrogen oxide mitigation in concrete at 4 hours, the results were: at 0%, 4.71; at 3%, 9.80; at 6%, 35.761; and at 9%, 42.01. At 26 hours, the values were: 0%, 4.81; 3%, 13.85; 6%, 52.10; and 9%, 62.54.

It is concluded that a higher concentration of the titanium dioxide photocatalyst improves the efficiency of the process, achieving its greatest effectiveness in the 6% and 9% samples, as a more noticeable discoloration is observed in accordance with UNI 11259, demonstrating an adequate photocatalytic process and a strong capacity for contaminant mitigation.

Keywords: photocatalyst, titanium dioxide, mitigation, nitrogen oxides.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras	xviii
Índice de anexos	xx
I. Introducción	21
II. Planteamiento del problema	23
2.1. Descripción y formulación del problema	23
2.1.2. Formulación del problema	26
2.2. Objetivos.....	27
2.3. Justificación e importancia	27
2.4. Hipótesis	29

2.4.1.	Hipótesis general	29
2.4.2.	Hipótesis específica	29
2.5.	Variables	31
2.5.1.	Tabla de operacionalización de variables	31
III.	Marco teórico	32
3.1.	Antecedentes.....	32
3.1.1.	Antecedente internacional	32
3.1.2.	Antecedente nacional.....	35
3.1.3.	Antecedente local	40
3.2.	Bases teóricas	41
3.2.1.	Fotocatálisis	41
3.2.2.	Fotocatalizador del dióxido de titanio	42
3.2.3.	Mitigación de óxidos de nitrógeno	53
3.3.	Definición de términos.....	59
IV.	Metodología.....	62
4.1.	Tipo y nivel de la investigación.....	62
4.1.1.	Enfoque de la investigación.....	62
4.1.2.	Tipo de investigación.....	62
4.1.3.	Nivel de investigación	63
4.1.4.	Diseño de investigación.....	63

4.2.	Ámbito temporal y espacial.....	64
4.2.1.	Ámbito temporal.....	64
4.2.2.	Ámbito espacial	65
4.3.	Población y muestra	67
4.3.1.	Población	67
4.3.2.	Muestra	67
4.3.3.	Tipo de muestra	68
4.3.4.	Muestreo	68
4.4.	Instrumentos	70
4.4.1.	Materiales y equipos.....	72
4.5.	Procedimientos	74
4.5.1.	Diseño de mezcla.....	74
4.5.2.	Ensayo para la mitigación de óxidos de nitrógeno	79
4.5.3.	Ensayo para la mitigación del indicador de Rodamina b	82
4.5.4.	Ensayo para la mitigación del indicador de Rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración	86
4.6.	Análisis de datos.....	89
4.7.	Consideraciones éticas.....	89
V.	Resultados y discusión.....	90
5.1.	Resultados.....	90

5.1.1.	Resultado del diseño de mezcla del concreto con adición del dióxido de titanio en 0%, 3%, 6% y 9%.....	90
5.1.2.	Resultado para la mitigación del indicador Rodamina B en el concreto de concentración del 0%, 3%, 6% y 9%	92
5.1.3.	Resultado para la mitigación del indicador Rodamina B con espectrómetro más esfera de integración en el concreto con adición de dióxido de titanio en 0%, 3%, 6% y 9%. 99	
5.1.4.	Resultado para la mitigación de óxidos de nitrógeno en el concreto con adición de dióxido de titanio en 0%, 3%, 6% y 9%.....	103
5.2.	Análisis estadístico.....	110
5.2.1.	Resumen de resultados de la mitigación del indicador de rodamina B a las 4 horas	110
5.2.2.	Resumen de resultados de la mitigación del indicador de rodamina b a las 26 horas	113
5.2.3.	Resumen de resultados de la mitigación con el indicador de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas	118
5.2.4.	Resumen de resultados de la mitigación con el indicador de rodamina b con el espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	122
5.2.5.	Resumen de resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas	126
5.2.6.	Resumen de resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas	129

5.3.	Prueba de hipótesis	133
5.4.	Discusión de los resultados.....	137
VI.	Conclusiones.....	141
VII.	Recomendaciones.....	144
VIII.	Referencias	147
IX.	Anexos.....	171

Índice de tablas

Tabla 1	Tabla de operacionalización de variables.....	31
Tabla 2	Ubicación del laboratorio.....	65
Tabla 3	Ubicación de la cantera	66
Tabla 4	Cantidad de muestras para la mitigación del indicador de Rodamina B	69
Tabla 5	Cantidad de muestras para la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más esfera de integración.....	69
Tabla 6	Cantidad de muestra para la mitigación de óxidos de nitrógeno.....	70
Tabla 7	Cantidad de material para la mezcla de la probeta cilíndrica (10 x 3 cm) en volumen comprimido.....	90
Tabla 8	Cantidad de material para mezcla de la probeta cilíndrica (5 x 6 cm) en volumen comprimido.....	91
Tabla 9	Resultados de la mitigación del indicador Rodamina B en 4 horas.....	92
Tabla 10	Resultados de la mitigación del indicador Rodamina B en 26 horas.....	94
Tabla 11	Comparación del cuadro de imágenes a las 0 horas.....	96
Tabla 12	Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas	97
Tabla 13	Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas	98
Tabla 14	Resultados de la mitigación del indicador Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas	99
Tabla 15	Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	100

Tabla 16 Resultados de la mitigación del contaminante óxidos de nitrógeno en 4 horas.....	103
Tabla 17 Resultados de la mitigación del contaminante óxidos de nitrógeno en 26 horas	104
Tabla 18 Comparación del cuadro de imágenes a las 0 horas	107
Tabla 19 Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas	108
Tabla 20 Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas	109
Tabla 21 Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B a las 4 horas	110
Tabla 22 Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 4 horas	111
Tabla 23 Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para la mitigación del indicador Rodamina B a las 4 horas.....	112
Tabla 24 Análisis inferencial para la mitigación del indicador de Rodamina B en las 4 horas	113
Tabla 25 Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas.....	113
Tabla 26 Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas	114
Tabla 27 Prueba de normalidad para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas	115
Tabla 28 Análisis inferencial para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas	116
Tabla 29 Análisis inferencial estadístico del indicador de Rodamina B a las 26 horas	117
Tabla 30 Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más esfera de integración a las 4 horas	118

Tabla 31 Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas	118
Tabla 32 Prueba de normalidad para la mitigación del indicador de Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas	119
Tabla 33 Análisis inferencial para la mitigación del indicador Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas.....	120
Tabla 34 Análisis inferencial estadístico para la mitigación del indicador Rodamina B con el espectrómetro más esfera de integración a las 4 horas	121
Tabla 35 Resultados de la mitigación con el indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	122
Tabla 36 Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	122
Tabla 37 Prueba de normalidad para la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	123
Tabla 38 Análisis inferencial para la mitigación con el indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas.....	124
Tabla 39 Análisis inferencial estadístico para la mitigación con el indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas	125
Tabla 40 Resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas.....	126
Tabla 41 Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas.	126
Tabla 42 Prueba de normalidad para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas	127
Tabla 43 Análisis inferencial para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas.	128

Tabla 44 Análisis inferencial estadístico para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas	
.....	128
Tabla 45 Resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas.....	129
Tabla 46 Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas.	130
Tabla 47 Prueba de normalidad para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas	
.....	131
Tabla 48 Análisis inferencial para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas.	132
Tabla 49 Análisis inferencial estadístico para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas	
.....	132

Índice de figuras

Figura 1 Comparativa entre fotosíntesis y fotocatalisis	41
Figura 2 Esquema de funcionamiento de un material fotocatalítico en exteriores.....	43
Figura 3 Formación del par electrón-hueco en el TiO ₂ (rutilo - anatasa)	47
Figura 4 Procedimiento experimental	64
Figura 5 Mapa de ubicación del laboratorio.....	65
Figura 6 Ubicación de la cantera	66
Figura 7 Recolección de agregados.....	74
Figura 8 aditivo del dióxido de titanio	74
Figura 9 Pesado de materiales	76
Figura 10 Pesado de agregado.....	76
Figura 11 Pesado del aditivo del dióxido de titanio	77
Figura 12 Mezcla del concreto	77
Figura 13 Incorporación del dióxido de titanio en 3%, 6% y 9% en la mezcla.....	78
Figura 14 Probetas cilíndricas del concreto con y sin aditivo del dióxido de titanio...	78
Figura 15 Cámara de luz UV	79
Figura 16 Contaminación de las muestras 0%, 3%, 6% y 9% con óxidos de nitrógeno	80
Figura 17 Muestras en la cámara UV	80
Figura 18 Obtención de valores de Mean en 0 horas	81
Figura 19 Obtención de valores de Mean en 26 horas	81
Figura 20 Materiales para la mitigación del indicador de Rodamina B.....	82
Figura 21 Solución de la Rodamina B.....	83
Figura 22 Cámara de UV para el indicador de Rodamina B.....	84

Figura 23 Muestra de 3% en 4 horas para obtener los datos de RGB	85
Figura 24 Muestras de 0%, 3%, 6% y 9% para la mitigación de Rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración.....	86
Figura 25 Las muestras en la cámara UV	87
Figura 26 Espectrómetro más esfera de integración.....	87
Figura 27 Muestra de 0%, 3%, 6% y 9% para obtener los resultados de L*a*b*	88
Figura 28 Comparación de la mitigación del indicador Rodamina B y tiempo de exposición en 4 y 26 horas	95
Figura 29 Comparación de cada concentración y tiempo de exposición a rayos UV de 4 y 26 horas con espectrómetro mas esfera de integración	102
Figura 30 Comparación de cada concentración y el tiempo de exposición a rayos UV en 4 y 26 horas	105

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia	171
Anexo 2 Ficha de observación para el control del tiempo de exposición de rayos UV	173
Anexo 3 Ficha de procesamiento con software "ImajeJ" para el indicador de rodamina b para las 4 horas	174
Anexo 4 Ficha de procesamiento con software "ImajeJ" para el indicador de rodamina b para las 26 horas	176
Anexo 5 Ficha de procesamiento con "espectrómetro más esfera de integración" para el indicador de rodamina b para las 4 horas	177
Anexo 6 Ficha de procesamiento con "espectrómetro más esfera de integración" para el indicador de rodamina b para las 26 horas	179
Anexo 7 Ficha de procesamiento con software "ImajeJ" para el contaminante de óxidos de nitrógeno a las 4 horas	180
Anexo 8 Ficha de procesamiento con software "ImajeJ" para el contaminante de óxidos de nitrógeno a las 26 horas	182
Anexo 9 Panel Fotografico.....	183
Anexo 10 Diseño de mezcla.....	208

I. Introducción

Podemos explicar el fotocatalizador del TiO_2 en el concreto, como una reacción química en la que interviene una fuente de luz o radiación y un catalizador que acelera la reacción, su capacidad para descontaminar el aire y no generar otras sustancias nocivas (Albergrass, s.f.).

Disminuir de manera simultánea la emisión de óxidos de nitrógeno contribuye de forma notable la mejora de la calidad del aire, esta mitigación atenúa los efectos nocivos de estos compuestos en la salud y el ambiente (Climate & Clean Air Coalition [CCAC], 2024)

Capítulo I; se presenta la introducción, donde se expone el contexto general de la problemática de la investigación.

Capítulo II; se expone el planteamiento del problema, la formulación de las interrogantes que orienta a la investigación, los objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio, la hipótesis planteada y la identificación de las variables que se analizarán a lo largo de la investigación.

Capítulo III; está dedicado al desarrollo del marco teórico, donde se recogen antecedentes relevantes a nivel internacional, nacional y local, además de incluir las bases teóricas que sustentan el estudio y finalmente las definiciones de términos.

Capítulo IV; se detalla la metodología utilizada, especificando el tipo de investigación, su enfoque temporal y espacial, la población y muestra considerada, los instrumentos aplicados para la recolección de datos, los procedimientos, el enfoque de análisis y las consideraciones éticas que garantizan el rigor y la integridad del proceso investigativo.

Capítulo V; presenta resultados obtenidos su respectiva interpretación, estableciendo conexiones con la teoría revisada para dar el análisis crítico.

Capítulo VI; recoge las conclusiones derivadas del estudio en función de los objetivos propuestos.

Capítulo VII; las recomendaciones orientadas a futuras investigaciones.

Capítulo VIII; finalmente las referencias como sustento teórico y metodológico del estudio.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La contaminación del aire es uno de los problemas afectados mayormente por el parque automotor, ya que presentan una amenaza a la salud como enfermedades respiratorias principalmente en niños y ancianos; la cual, se estima que en 2019 aproximadamente el 68% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 14% se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, el 14% se debieron a infecciones agudas de las vías respiratorias bajas y el 4% de las muertes se debieron a cánceres de pulmón (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024).

De acuerdo a lo señalado por el Climate and Clean Air Coalition (CCAC, 2017) las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes por vehículos motorizados diésel presentan una fuente significativa de contaminación de aire las cuales están directamente relacionadas con miles de muertes prematuras en todo el mundo, a pesar de los límites regulatorios, el impacto de estas emisiones sigue aumentando, en el 2015 se reveló que los fabricantes de Volkswagen emplearon “dispositivos de desactivación” para engañar a los reguladores, ocultando que los vehículos diésel emitían niveles de NO_x muy superiores a lo permitido; lo cual un estudio publicado en “Nature” analizó 11 grandes mercados que presentan más del 80% de los vehículos Diesel y encontró en el 2015 de los vehículos diésel emitieron 13,1 millones de toneladas de NO_x en condiciones reales, lo que presentan 4,6 millones de toneladas más que la estimación basada en pruebas de laboratorio, los vehículos pesados fueron responsables del 76% del exceso global de NO_x, especialmente en Brasil, China, la UE, India y EEUU que juntos generaron el

90% de esas emisiones; en el caso de los vehículos ligeros, la unión europea fue responsable de casi el 70% del exceso total de emisiones

La intensa actividad vehicular es la principal fuente de emisión de los contaminantes como el ozono troposférico, óxidos de nitrógeno y compuestos volátiles, confirman una atmósfera con un proceso de formación de ozono limitado por COV, esto es causado por las altas concentraciones de NO_x provenientes por los vehículos motorizados; además las altas concentraciones del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, guardan una estrecha relación con las horas de mayor actividad vehicular (primera hora punta 6:00 y 9:00 horas y la segunda hora punta de 18:00 a 21:00 horas) ya que alcanzan los valores máximos dentro del ciclo diario, en Lima durante los horarios de mayor actividad vehicular (hora punta), determino la presencia de gran cantidad de partículas de hollín con tamaños menos de 5 micrómetros (μm), la cual es una preocupación ya que son 30 veces más pequeñas que diámetro del cabello humano y puede ingresar rápidamente en el sistema respiratorio y generar daños en la salud (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2018).

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación de nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas y son potencialmente peligrosos para la salud por que producen alteraciones en el tracto respiratorio como los siguientes efectos percepción olfativa, irritación nasal, dolores respiratorios agudos, edema pulmonar y finalmente, la muerte; además, causan lesiones en plantas, aunque no es fácil de distinguir cuales de estos efectos se derivan directamente del NO_x y cuáles de los secundarios producidos por el NO₂ (Carnicer, 2007); en nuestro país, si bien la legislación ambiental ha avanzado, la implementación y el monitoreo de la calidad del aire siguen siendo un reto significativo, con la incorporación al parque automotor de vehículos nuevos con tecnología Euro

IV o equivalentes, las emisiones de óxidos de nitrógeno se reducirán hasta en un 35% y la de material particulado (PM_{2,5}) hasta un 70%; asimismo, se permite la aplicación de la norma de emisiones EPA 2007, la cual no había sido incorporada en la normativa peruana a pesar que las emisiones del 20% de los vehículos que se importan al país se certifican bajo esta normativa internacional, la norma de Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones atmosféricas para vehículos automotores fue elaborada en coordinación con el Grupo de Trabajo Multisectorial encargado de proponer medidas para mejorar la calidad del aire a nivel nacional vinculadas a las emisiones vehiculares (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

En la ciudad de Abancay, uno de los principales problemas ambientales es la contaminación del aire generado por el crecimiento del parque automotor, para Zegarra (2019), el estudio realizado en la zona comercial las Américas, las emisiones producidas por los vehículos son CO, NO_x y material particulado, contribuyen de manera significativa al deterioro de la calidad del aire, el incremento masivo de vehículos, muchas de ellas con antigüedad considerable y sin mantenimiento adecuado, provoca niveles elevados de contaminantes en horas de mayor tránsito; por ello Abancay enfrenta un problema persistente de contaminación atmosférica asociada al transporte.

En Abancay la presencia de enfermedades respiratorias es uno de los principales de salud publica, según (DIRESA, 2017), esta situación agrava con la exposición de contaminantes generados por el tránsito vehicular, como los óxidos de nitrógeno; de acuerdo con organismos internacionales Environmental Protection Agency (EPA, 2025), puede causar irritación pulmonar e inflamación de las vías respiratorias; además, según Zegarra (2019), este contaminante contribuye a procesos de degradación del aire como la formación de ozono troposférico y lluvia acida, por lo cual afecta la calidad del aire, alterando la vegetación y degradación de suelos y

cuerpos de agua, como en la avenida Venezuela, las Américas y el Olivo, puntos de tránsito intenso en la ciudad de Abancay.

La incorporación del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto representa una alternativa sostenible para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay, al activarse con los rayos UV, el dióxido de titanio transforma los NO_x en compuestos menos dañinos, contribuyendo a tener aire más limpio, su incorporación en veredas, pavimentos y espacios públicos permitirá reducir la exposición de la población a gases irritantes que afectan la salud respiratoria; además, el concreto fotocatalítico tiende a tener superficies más duraderos y la capacidad de autolimpiable, lo que reduce los costos de mantenimiento y esta tecnología puede mejorar la calidad del aire en la población.

2.1.2. Formulación del problema

2.1.2.1. Problema general

- ¿De qué manera influye el fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024?

2.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024?
- ¿Cuál es el tiempo de reacción del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024?

- ¿Cuál es la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio con respecto al cambio de coloración en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- Evaluar el tiempo de reacción del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- Analizar la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio con respecto al cambio de coloración en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

2.3. Justificación e importancia

A nivel teórico; la presente investigación aborda un problema ambiental como es la contaminación específicamente de los óxidos de nitrógeno que son gases altamente nocivos para la salud de la población y el medio ambiente que son generados principalmente por el parque automotor, en este contexto, el uso del fotocatalizador del dióxido de titanio (TiO_2) incorporado

en el concreto urbano permite reducir estos contaminantes de forma pasiva y además de ser autolimpiable, mediante la acción de la luz solar, esta investigación busca aportar una solución tecnológica limpia y sostenible que ayude a mitigar los óxidos de nitrógeno (NO_x) en la ciudad de Abancay, así contribuyendo a la calidad ambiental.

A nivel social, la contaminación del aire afecta directamente a la población de Abancay, en especial a grupos vulnerables como son los niños, los adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias para la mejora de la calidad del aire esto puede reducir enfermedades respiratorias, por la cual la población tendría una mejor calidad de vida, además de que esta investigación fomenta la conciencia ambiental y el uso de tecnologías amigables con el entorno y así ayudando a la ciudadanía de Abancay.

A nivel económico, el uso del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto presenta una inversión eficiente a largo plazo; la cual, reduce costos asociados a la salud pública y al control de la contaminación del aire en la ciudad de Abancay.

En la perspectiva de la práctica, esta investigación propone la evaluación del fotocatalizador del dióxido de titanio que actúe como un agente descontaminante ya que su implementación es en pavimentos, veredas urbanas sin afectar la construcción convencional que ayudara a mitigar óxidos de nitrógeno generados por la combustión vehicular; además, los resultados de este estudio pueden ser aplicados en otras ciudades del país.

A nivel ambiental; el uso de fotocatalizador del TiO₂ en el concreto contribuye directamente a la mitigación de contaminantes del aire; también, mejorando la calidad del aire y reduciendo el impacto ambiental de la actividad urbana; además, su aplicación promueve una

población más saludable y sostenible, así alineándose con los objetivos de reducción de emisiones y fortalecimiento ambiental en la ciudad.

Importancia de la investigación; aporta una solución tecnológica innovadora para enfrentar la contaminación del aire por los óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay; lo que genera un conocimiento científico aplicable; además, promueve la salud pública, optimiza los recursos económicos y contribuye con la protección del medio ambiente y puede servir como modelo replicable en otras ciudades, fomentando desarrollo y conciencia ambiental en la ciudadanía.

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

- La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto mitiga significativamente los óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto no mitiga significativamente los óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

2.4.2. *Hipótesis específica*

- La concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- El tiempo de reacción del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

- La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio con respecto al cambio de coloración en el concreto es significativa para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

2.5. Variables

2.5.1. Tabla de operacionalización de variables

Tabla 1

Tabla de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ITEMS	ESCALA DE MEDICION
Variable independiente: Fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto	Es un proceso que involucra reacciones químicas en materiales semiconductores en el cual los electrones en la banda de valencia, al ser excitados por la luz para integrar componentes activos, pueden incluirse en diversos materiales de construcción, incluidos materiales cementicios, degradan las impurezas adsorbidas, reduciendo sus estructuras y transformando a contaminantes menos nocivos (Fabiula et al, 2025).	Ficha del diseño de mezclas; esto ayuda a determinar la proporción de los materiales para tener un concreto con propiedades fotocatalíticas.	Concentraciones del dióxido de titanio	Concentraciones del fotocatalizador (%).	0%, 3%, 6%, 9%	Nominal
		Ficha de control de tiempo; se registrará el tiempo de exposición del concreto fotocatalítico a la luz UV durante el ensayo, esto permite correlacionar la duración de la radiación para la degradación del NO _x .	Tiempo de reacción del dióxido de titanio	Tiempo de exposición (horas).	4 horas 26 horas	Ordinal
Variable dependiente: Mitigación de óxidos de nitrógeno	“La reducción simultánea de las emisiones de óxido de nitrógeno además de que también mejoraría significativamente la calidad del aire” (Climate & Clean Air Coalition [CCAC], 2024).	Ficha de análisis de color con el software “ImageJ” y espectrómetro más la esfera de integración; la cual servirá para medir los cambios de la superficie del concreto relacionados con la actividad fotocatalítica, esto permite determinar la eficiencia de TiO ₂ en la mitigación del NO _x .	Cambio de coloración.	Rodamina B - Factor de fotodegradación del color y Agente contaminante NO _x Factor de fotodegradación del color	Normas UNI 11259 mediante el análisis con software “ImageJ” (%) El espectrómetro más la esfera de integración (%).	Ordinal

Nota: Tabla de operacionalización de variables

Fuente: Elaboración propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedente internacional

Según Segura & Camelo (2019), en su investigación de "evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto adicionado con dióxido de titanio", tiene como objetivo evaluar las propiedades fotocatalíticas del concreto adicionado con dióxido de titanio (TiO_2), como reductor de la contaminación del aire por partículas volátiles, a partir de la aplicación de prefabricados para obras de infraestructura vial, la metodología de la investigación es aplicada a este proyecto fue de carácter experimental, con análisis cuantitativo y cualitativo, la población en concreto prefabricado para obras de infraestructura vial adicionando con dióxido de titanio, en la muestra se realizó con prefabricados de concreto elaborados con residuos de cantera y adición de TiO_2 en porcentajes de 2.5%, 5% y 7.5%, y el resultado de la fabricación de concreto con residuos de cantera, adicionando dióxido de titanio (TiO_2) para evaluar sus propiedades fotocatalíticas en la reducción de contaminantes del aire, se determinó que al aumentar el contenido de TiO_2 (2.5% - 7.5%), la resistencia a la compresión disminuye, pero dentro del rango normativo (≥ 4000 psi). Además, acelera el fraguado en los primeros días. La mejor relación costo-beneficio se obtuvo con un 5% de TiO_2 en fase rutilo, optimizando la degradación de contaminantes sin afectar significativamente la resistencia ni los costos; concluyendo, que el concreto fotocatalítico con TiO_2 es eficaz como reductor de contaminantes del aire y puede aplicarse en prefabricados para infraestructura vial.

Según Martín (2018), con el título "mortero fotocatalítico que limpia la contaminación ambiental" tiene como objetivo evaluar los efectos del revestimiento de mortero con TiO_2 en sus

distintos usos para efectos descontaminantes y su capacidad de descontaminación del aire, la metodología de investigación realizada fue de tipo Aplicada – Experimental de enfoque cuantitativo, orientada a la tecnología ambiental con un diseño experimental, la población es el material de construcción como unidad de análisis, los 25 morteros con distintas proporciones de dióxido de titanio, en la muestra se emplearon con 5 distintas concentraciones de dióxido de titanio (0%, 5%, 7.5%, 8.5% y 10%), en los resultados se obtuvo que la mezcla con 8.5% (M8.5) mostró una disminución de aproximadamente 7%, la mezcla con 10% (M10) presentó la mayor resistencia, pero no es viable por su baja trabajabilidad, el dióxido de titanio (TiO_2) incorporado en el mortero actúa como fotocatalizador en presencia de luz solar (UV) y oxígeno, descomponiendo contaminantes como óxidos de nitrógeno NO_x , COVs, CO y SO_x , en conclusiones el mortero fotocatalítico con TiO_2 puede ser una estrategia efectiva para reducir contaminantes ambientales expuestos en superficies de construcción.

Para Ávila (2018), en su estudio de investigación sobre “Propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio en concreto y mortero” su objetivo fue evaluar las propiedades fotocatalíticas que presentan las mezclas a base de cemento Portland, al agregarles nanopartículas de dióxido de titanio, con el fin de obtener materiales con propiedades de autolimpieza, específicamente la metodología es de estudio experimental, la población está formada por los materiales de construcción utilizados en las pruebas fotocatalíticas, la muestra son probetas de mortero y concreto a las que se agregó TiO_2 en proporciones de 5% y 10% y teniendo como resultado de las probetas de mortero y concreto con adición de nanopartículas de TiO_2 (al 5% y 10%) mostraron una alta capacidad de autolimpieza al ser expuestas a radiación UV-A, en especial, las de 10% TiO_2 lograron una limpieza casi total en pruebas con azul de metileno y NO_2 , desde el punto de vista económico, a pesar del mayor costo inicial (hasta 1225% más), los materiales

fotocatalíticos generan ahorros de mantenimiento entre el 24% y el 40% a largo plazo (10 años), lo que los hace viables económicamente, concluyendo que las mezclas de mortero y concreto con dióxido de titanio al 10% mostraron alta eficiencia en la degradación de contaminantes como NO₂ y manchas superficiales bajo radiación UV-A. Las superficies pulidas fueron más efectivas, en conclusión, la mezcla de mortero y concreto con 10% de TiO₂ presentaron eficiencia de la degradación de contaminantes, incluyendo NO₂ y manchas superficiales.

Para Moreno (2018), de su investigación cuyo título es “fotocatálisis en materiales a base de cemento” del cual su objetivo es evaluar las propiedades autolimpiante de los materiales fotocatalíticos activos en el espectro visible, aplicados en morteros de cemento blanco y gris, mediante el uso de dos adiciones fotocatalíticas, su metodología es netamente experimental, la población está conformada por diferentes tipos de mortero y combinaciones de adición fotocatalítica, la muestra se utilizó dos porcentaje de adición de fotocatalizador (1.5% y 5%); además, tuvo como resultados que la actividad fotocatalítica en el espectro visible fue limitada: los porcentajes de degradación oscilaron entre 0% y 18,63%, aunque el fotocatalizador modificado mostró mejores resultados que el comercial; sin embargo, en el espectro ultravioleta (UV) se alcanzó una degradación de hasta el 94,48%, lo que demuestra que la fotocátalisis sigue siendo más efectiva bajo radiación UV, en pruebas con disolución de tabaco, el mejor resultado fue una degradación del 17,35% usando cemento gris con 3% de fotocatalizador modificado expuesto a luz blanca durante 24 horas, que ambos aún son poco eficientes en ese rango de luz, la efectividad aumenta con mayor porcentaje de adición (1,5% y 3%), el uso de cemento blanco mostró mejores resultados frente al cemento gris bajo ciertas condiciones, especialmente con luz visible 1 (425 nm). aunque el desempeño bajo luz visible no iguala al del UV y concluyendo que la efectividad aumenta con mayores porcentajes de adición.

Para Hernández (2015), de su investigación sobre el “Estudio de las propiedades físicas de concreto modificado con TiO_2 tiene como objetivo el estudio de las propiedades físicas de concreto modificado con TiO_2 para la obtención de superficies fotocatalíticas, La metodología fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, orientación aplicada y de diseño de investigación experimental, la población de estudio en concreto modificado con TiO_2 $\text{Fe}:\text{TiO}_2$, considerando todas las posibles combinaciones y concentraciones, la muestra se trabajó con mezclas de concreto adicionando 1% de TiO_2 , la incorporación de TiO_2 y $\text{Fe}:\text{TiO}_2$ genera una disminución en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional, sin embargo, la mezcla con 1% de TiO_2 mostró la menor reducción de resistencia, siendo la más adecuada entre las probadas. Se confirmó la migración de las nanopartículas (TiO_2 y $\text{Fe}:\text{TiO}_2$) hacia la superficie del concreto, lo que permite que estén expuestas a la luz solar. Las mediciones mostraron un aumento significativo de la reflectancia difusa, indicando que el concreto modificado con TiO_2 es autolimpiable bajo radiación solar y al concluir que la incorporación de TiO_2 y $\text{Fe}:\text{TiO}_2$ disminuye la resistencia de compresión en comparación, aunque la mezcla con 1% de TiO_2 presenta la menor reducción.

3.1.2. Antecedente nacional

Para Rivera (2022), de su investigación de “Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio” su objetivo de la investigación fue determinar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfaltado adicionado con dióxido de titanio (TiO_2), la metodología de la investigaciones es tipo aplicada, diseño de investigación experimental y enfoque cuantitativo, la población en mezclas de asfalto adicionadas con dióxido de titanio, considerando distintas proporciones de TiO_2 y su muestra se trabajó con mezclas de asfalto con adición de TiO_2 al 0%, 2%, 4%, 5.8% y 8% y según los resultados obtenidos el

porcentaje óptimo de asfalto fue del 5.8 %, se concluye que para los ensayos de estabilidad y flujo el % que mejora las propiedades mecánicas fue del 2 %, según a los ensayos de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas las muestras con 2%, 4%, 8 % de dióxido de titanio aumentaron su estabilidad Marshall en 1460.8 kg, 1528.4 kg, 1527.3 kg respectivamente superando a la muestra patrón con una resistencia de 1206 kg, sin embargo a partir del 8 % la resistencia empieza a descender aun así cumpliendo los parámetros establecidos, según a las propiedades fotocatalíticas las muestras con 0 % de dióxido de titanio arrojaron un R4 y R26 de 3.37 % y 6.47 % para un 8 % de TiO_2 un R4 de 11.76 % y para R26 una degradación de 28.49 % concluyendo que el asfalto modificado con TiO_2 no supera las especificaciones establecidas por la norma UNI 11259 que establece que R4 debe ser mayor a 20 % y R26 mayor a 50 % para considerarse como material fotocatalítico, así concluyendo que el porcentaje optimo de asfalto para la mezcla fue de 5.8% demostrando su propiedad fotocatalítica.

Coral (2022), su investigación sobre el “Desempeño mecánico y fotocatalítico del pavimento de concreto hidráulico con adición de dióxido de titanio” el objetivo fue evaluar el desempeño mecánico y fotocatalítico del pavimento de concreto hidráulico con adición de dióxido de titanio, el muestreo fue por conveniencia teniendo un total de 160 especímenes, la metodología es de nivel de investigación es explicativo, el tipo de investigación aplicada y el diseño es experimental y su resultado es la adición del TiO_2 al concreto hidráulico influye significativamente en la resistencia a la compresión, incrementando su valor respecto a las unidades de concreto sin TiO_2 hasta en 24.39, 25.79 y 81.63 % para los porcentajes de adición de 3, 6 y 9 % , la adición de TiO_2 influyo significativamente en el módulo de rotura incrementando su valor hasta en 23.27, 31.54 y 48.55% para los porcentajes de 3, 6 y 9 % respectivamente, también influye progresivamente en los factores de degradación con los

porcentajes 6 y 9 % R4 y R24, los cuales todos son mayores a 25 y 50% respectivamente, finalmente se recomienda realizar la fotocátalisis con un fotocatalizador análogo con el ZnO que teóricamente presenta mayor absorción de rayos UV, en conclusión la adición del TiO₂ incrementa significativamente la resistencia a la compresión, además los factores de degradación fotocatalítica de R4 y R24 aumentan progresivamente con 6% y 9%.

Vásquez (2016), su estudio sobre “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto” tiene como objetivo el propósito de verificar los efectos del fotocatalizador (TiO₂) con la capacidad autolimpiante y la resistencia a la compresión de un concreto con una resistencia nominal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la metodología utilizada es experimental además la información fue recolectada mediante un enfoque cuantitativo, la población en concreto al que se adiciono dióxido de titanio, mientras en la muestra se realizó con tratamientos de concreto con diferentes porcentajes de 3% y 6%, teniendo como resultados revelaron que el único tratamiento que no mostró propiedades fotocatalíticas ni autolimpiante fue aquel que carecía de TiO₂, este tratamiento no cumplió con los valores mínimos requeridos en las pruebas de rodamina R4 y R26. En contraste, el resto de los tratamientos sí demostraron ser fotocatalíticos y autolimpiante, después de analizar los estudios sobre la durabilidad al ser comprimido y la prueba de rodamina b en la decoloración, se pudo concluir que el tratamiento más adecuado se encuentra en el intervalo del 3% al 6% de TiO₂, este concreto se encuentra estadísticamente dentro de la misma familia del mortero al cual fue llamado en cuanto a su respectiva resistencia.

Para Soncco(2021), la presente investigación sobre “Evaluación de las propiedades fotocatalíticas adicionando nanopartículas de dióxido de titanio en la disminución de partículas volátiles contaminantes presentes en el aire, en morteros de cemento”, tiene como objetivo

principal evaluar las propiedades fotocatalíticas adicionando nanopartículas de dióxido de titanio en la disminución de partículas volátiles contaminantes presentes en el aire, la metodología empleada en la presente investigación es de tipo analítico con un enfoque cuantitativo y un alcance correlacional con un tiempo de estudio transversal y diseño experimental y obteniéndose como resultados que las muestras adicionadas con TiO_2 mejoran sus propiedades fotocatalíticas de degradación de partículas contaminantes y degradación de rodamina B, incrementándose mientras mayor sea el porcentaje añadido de TiO_2 , en cuanto a las propiedades mecánicas; resistencia a la compresión y flexión y las propiedades físicas; tasa de absorción y permeabilidad, se evidencia una disminución mientras mayor sea el porcentaje añadido de TiO_2 , así también las muestras presentan menor plasticidad a partir de mezclas adicionadas con 7% de TiO_2 , en conclusión, las muestras que presentaron mejores resultados fueron las adicionada con 5% de TiO_2 , ya no disminuye significativamente las propiedades mecánicas y físicas, en cuanto a las propiedades fotocatalíticas se observa un comportamiento eficiente sin afectar significativamente las propiedades mecánicas mejorando las propiedades físicas de los morteros de revestimiento.

Carazas&Palomino (2020), este estudio de título “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y fotocatalíticas del mortero patrón de cemento respecto al mortero de cemento adicionado con dióxido de titanio al 3%, 5% y 7%”, tuvo como objetivo determinar el resultado de la evaluación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del mortero de cemento portland tipo I relación A/C 0.85 adicionado con dióxido de titanio en concentraciones de 3% 5% y 7% frente al mortero patrón de cemento portland tipo I relación A/C=0.85. Para esto se empleó los agregados de la cantera “De Conyac” del distrito de Limatambo y el agua de la ciudad de Cusco, la cual tuvo como método de investigación, hipotético deductivo. Existen diferencias

significativas de degradación del dióxido de nitrógeno (NO_2) para el factor R26, de las probetas con porcentajes de 3%, 5% y 7% adicionado con TiO_2 frente al mortero patrón, en vista que los valores de p (sig.) es menor a 0.05 para todos los factores y tratamientos, la degradación del gas NO_2 obtenida del ensayo de fotodegradación de los morteros adicionados con dióxido de titanio en concentraciones de 3%, 5% y 7% de a/c = 0.85 para los factores R4 y R26 cumplió con la norma UNI 11259, obteniéndose los valores más altos para el factor R26 con 23.12%, 27.93% y 36.81% para las concentraciones de 3%, 5% y 7% respectivamente, respecto a la fotodegradación del mortero patrón cuyo resultado fue de 21.84% y se demuestra que la adición de TiO_2 al mortero de cemento Portland tipo I mejora su adherencia y reduce la absorción de agua, aunque disminuye su resistencia a la compresión y fluidez; además, se confirma su capacidad fotocatalítica, logrando una mayor autolimpieza y degradación de contaminantes, estos hallazgos abren la puerta a materiales más sostenibles y funcionales en la construcción.

Fuentes, et al. (2016), sobre su investigación de “Incorporación de nanomateriales en el concreto fotocatalítico para la reducción de NO_x y CO_2 ” el objetivo del estudio es evaluar la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) en concreto fotocatalítico para mejorar sus propiedades autolimpiante y su capacidad de reducir contaminantes como NO_x y CO_2 , de metodología en enfoque cuantitativo de tipo experimental, además el resultado de los especímenes con TiO_2 aplicado superficialmente mostraron una resistencia a la compresión significativamente mayor en comparación con los que contenían TiO_2 como aditivo, todos los especímenes con TiO_2 presentaron capacidad de fotocatálisis, evidenciada por la decoloración del azul de metileno. Como conclusiones se tuvo que el uso de TiO_2 como recubrimiento superficial en concreto fotocatalítico es más efectivo que su incorporación como aditivo en la mezcla, se sugiere que el TIOCEM (nombre comercial del producto) puede ser utilizado tanto

como sellador y pintura como aditivo, dependiendo de la aplicación, la implementación de estos materiales en la construcción podría promover innovaciones en tecnología fotoquímica y contribuir a la mejora del medio ambiente, reduciendo la contaminación en áreas urbanas.

3.1.3. Antecedente local

Cruz & Zaga (2024) el estudio sobre “Influencia del dióxido de titanio al 3%, 5% y 7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados” su principal objetivo es el propósito principal era establecer el impacto del TiO_2 en diferentes porcentajes evaluando el comportamiento fotocatalítico y mecánico de la mezcla de asfalto en caliente con agregados de Abancay, la metodología es de tipo de estudio es correlacional, la etapa de estudio es explicativa, el enfoque es deductivo, el diseño es experimental, la muestra se realizó en mezclas asfálticas adicionadas con 0%, 3%, 5% y 7% de TiO_2 , finalmente su resultado es contenido ideal de asfalto es del 5.95 %, la estabilidad en el 0%, 3%, 5% y 7% fue de (1379.20, 1423.9, 1281.20, 1800.81) kg; el flujo fue de (3.95, 5.4, 7, 4, 7.43) mm, la resistencia a la tracción indirecta alcanzó los (14.50, 15.83, 8.33, 19.57) kg/cm^2 , la resistencia al desgaste alcanzó los valores de (-6.48, -7.68, -7.83, -17.32) %, el nivel de autolimpieza a través del ensayo de rodamina con R26 alcanzó los (12.645, 55.532, 56.517, 56.604) %, concluyendo que el contenido ideal de asfalto fue de 5.95% además teniendo la mezcla fotocatalítica es efectiva en la degradación de contaminantes.

3.2. Bases teóricas

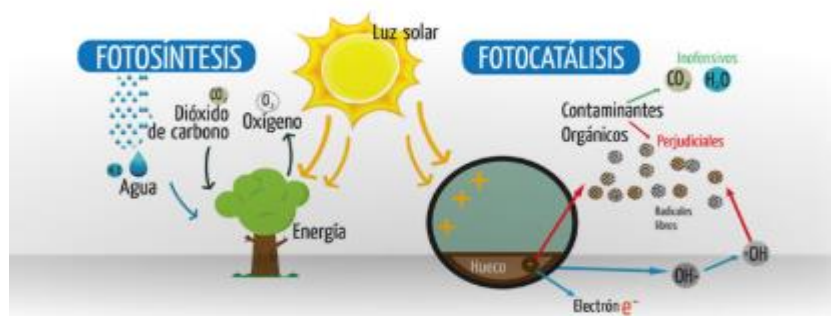
3.2.1. Fotocatálisis

La fotocatálisis es la reacción que activa una sustancia fotocatalítica, por estar expuesto a la radiación solar y en presencia de oxígeno, esto se llama reacción de oxidación, cuya función principal es oxidar las partículas contaminantes suspendidas en el aire capturándolas y reduciéndolas a sustancias inofensivas, por lo cual se categoriza como un descontaminante. Esta reacción fotoquímica transforma la energía solar en energía química sobre la superficie de un catalizador, que consiste en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción de oxidación y reducción (Maury & De Belie, 2010).

En la naturaleza, el ejemplo más conocido de fotocatálisis es la fotosíntesis llevada a cabo por las plantas, donde la clorofila actúa como catalizador, inducida por la luz natural a convertir el agua y el dióxido de carbono en oxígeno y dextrosa (Que pintamos [QP], 2015).

Figura 1

Comparativa entre fotosíntesis y fotocatálisis



Nota: comparativa entre fotosíntesis y fotocatálisis, (Que pintamos [QP], 2015).

3.2.1.1. Tipo de fotocatalizador

Fotocatálisis heterogénea; suele ser un material semiconductor capaz de absorber los fotones entrantes. Las reacciones fotocatalíticas, es decir, la oxidación y reducción de los

donantes y aceptores, respectivamente, ocurren en la interfaz entre el semiconductor y el medio gaseoso o líquido (normalmente acuoso) o en su proximidad en el fluido. Múltiples y diversos son los materiales empleados como fotocatalizadores (Mendive & Bahnemann, 2016).

3.2.1.2. Etapas del fotocatalizador heterogénea

Según Muhammad, et al, (2020) nos dice que las etapas del fotocatalizador son las siguientes:

- Absorción de luz; “el fotocatalizador, que puede ser una molécula orgánica o una sal de metal, absorbe fotones de luz” (Muhammad et al., 2020).
- Transferencia de energías; “al absorber la luz, el fotocatalizador se excita a un estado de mayor energía. Esta energía puede luego transferirse a los reactivos, que pueden ser moléculas orgánicas, iones o radicales” (Muhammad et al., 2020).
- Reacciones de oxidación-reducción; “la transferencia de energía provoca reacciones químicas, generalmente de oxidación y reducción, que degradan los contaminantes u otros reactivos” (Muhammad et al., 2020).
- Formación de productos; “el resultado final de las reacciones son productos menos dañinos o deseables, como agua, dióxido de carbono o compuestos orgánicos de menor peso molecular” (Muhammad et al., 2020).

3.2.2. *Fotocatalizador del dióxido de titanio*

Cuando el semiconductor (fotocatalizador) es iluminado con luz de longitud de onda con una energía igual o mayor que su brecha prohibida, se promueven electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción, produciendo así un electrón (e^-) en la BC y dejando un hueco positivo (h^+) en la BV, entonces el dióxido de titanio (TiO_2 , Titania) es un semiconductor con una brecha prohibida del orden de 3.0 eV y ha sido considerado como el fotocatalizador ideal

debido a sus propiedades fisicoquímicas: no es soluble en medio líquido, es barato y puede ser reusado, posee alta resistencia a la corrosión fotoquímica, la fotocatalisis se lleva a cabo a temperatura ambiente (Escobar & Solís, 2021).

El fotocatalizador de dióxido de titanio (TiO_2), uno de los materiales más frecuentemente usados en general, ha emergido como un excelente material fotocatalítico para aplicaciones ambientales. En esta revisión, se han analizado los principios y mecanismos de la actividad fotocatalítica del TiO_2 . Se han considerado las especificidades estructurales y físicas de las nanopartículas de TiO_2 , tales como la morfología, la estructura cristalina y las propiedades electrónicas y ópticas, en el contexto de las aplicaciones fotocatalíticas (Armaković et al., 2023).

Figura 2

Esquema de funcionamiento de un material fotocatalítico en exteriores



Nota: Esquema de funcionamiento de un material fotocatalítico en exteriores, (Dueñas, s.f.)

3.2.2.1. Ventajas del fotocatalizador del dióxido de titanio

Reducción de contaminante atmosféricos; el dióxido de titanio (TiO_2) al ser activado con la luz ultravioleta puede degradar contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x), contribuyendo a la mejora de la calidad del aire en entornos urbanos, un estudio realizado en

lima, demostró que el uso del mortero fotocatalítico con dióxido de titanio logra reducir el dióxido de carbono en un 97.9% y el monóxido de nitrógeno en un 63.4% (Chirinos & Aquisé, 2022).

- Propiedades autolimpiables; el dióxido de titanio (TiO_2) aplicados en materiales de construcción como el concreto permite desarrollar superficies autolimpiables, esta propiedad se activa mediante la exposición a la luz ultravioleta provocando una reacción fotocatalítica así descomponiendo compuestos orgánicos y facilita su remoción con el agua de lluvia, además al incorporar un porcentaje (%) de dióxido de titanio permitió la degradación eficiente de colorantes orgánicos, mostrando así un comportamiento autolimpiante efectivo (Bernuy & Flores, 2016).
- Mejora estética y durabilidad; el uso del dióxido de titanio no solo contribuye a la limpieza superficial sino, que también mejora la estética urbana y la durabilidad de las estructuras de concreto, las nanopartículas del TiO_2 reducen la absorción del agua y la porosidad del concreto, haciéndola más resistente al envejecimiento y agentes contaminantes, por esto la adición del dióxido de titanio al concreto mejora su resistencia y disminuye su vulnerabilidad al deterioro ambiental, lo que se traduce en una vida útil prolongada para los elementos expuestos (Caballa & Fraga, 2023).
- Contribución a la sostenibilidad urbana; desde la perspectiva ambiental el dióxido de titanio favorece la sostenibilidad urbana al disminuir la concentración de los contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno, esta capacidad convierte a los concretos fotocatalíticos en materiales funcionales para reducir la contaminación en el aire en entornos urbanos, por eso representan una alternativa

ecoeficiente que integran propiedades descontaminantes y estéticas, mejorando el entorno urbano son costos operativos adicionales (Zamora & Castañeda, s.f.).

3.2.2.2. Desventajas del dióxido de titanio

Las desventajas del dióxido de titanio para Espinas (2021), es lo siguiente:

- Dependencia de la luz UV; el dióxido de titanio, se activan mediante la luz ultravioleta para descomponer contaminantes dañinos del entorno la activación depende directamente de la exposición a luz UV, lo que convierte a la luz solar en una aliada clave, entonces lo más valioso de esta tecnología es que funciona a bajas temperaturas, requiere poca energía y permite desarrollar soluciones sostenibles; además, el TiO_2 puede producirse sin el uso de químicos tóxicos, cuidando tanto la salud de las personas que lo manipulan como el medio ambiente (Espinas, 2021).
- Desgaste superficial; ocurre cuando una superficie pierde material por el contacto constante con su entorno, como el viento, el agua o el roce con otros objetos. Este proceso depende mucho de cómo está hecha la superficie, tanto en su composición como en su estructura interna y externa, además influyen su textura, es decir, qué tan rugosa o lisa es, y la energía que tiene en su superficie por eso Todos estos factores determinan qué tan rápido o lento se desgasta un material (Tello, 2019).

3.2.2.3. Identificación del dióxido de titanio

El dióxido de titanio (TiO_2) es un óxido metálico ampliamente estudiado y utilizado en procesos de fotocátalisis heterogénea debido a su excelente estabilidad química, alta actividad fotocatalítica y bajo costo, además se presenta comúnmente en tres fases cristalinas: anatasa,

rutilo y brookita; según Fujishima (2008), que la fase anatasa es la más activa fotocatalíticamente, aunque la combinación anatasa-rutilo como lo veremos en lo siguiente:

Nanopartículas del dióxido de titanio; “este método permite obtener partículas con tamaños inferiores a 10 nm y con una alta pureza en la fase anatasa, lo que es ideal para aplicaciones fotocatalíticas” (Guerrero et al., 2015).

- Fase cristalina de anatasa; La anatasa de dióxido de titanio, a menudo denominada Tipo A, es un pigmento de alta demanda adecuado para diversas aplicaciones, por el cual indica que una excelente dispersión de luz, alto poder de cubrimiento y blancura, estabilidad química superior, con resistencia a las reacciones en condiciones típicas, gran resistencia a la luz, al calor, a los ácidos diluidos y a los álcalis diluidos y buena dispersabilidad y procesabilidad (Wotai Yuanwang [WY], s.f.).
- Fase rutilo; “es la forma más estable y duradera de dióxido de titanio. El rutilo es conocido por su alta opacidad, resistencia a los rayos UV y resistencia a la intemperie” (WY, s.f.).
- Material semiconductor; se caracterizan por su estructura electrónica, que se puede describir con la teoría de bandas de los materiales, la teoría de bandas establece que todos los materiales tienen unos niveles electrónicos posibles, definidos como bandas. Los materiales se clasifican según la separación energética que existe entre dichas bandas, también conocida como la banda prohibida que las diferencias en la estructura electrónica de un aislante (banda prohibida muy grande), un semiconductor (banda prohibida menor) y un metal (sin banda prohibida, con una continuidad de los estados electrónicos por todo el

material). De acuerdo con la teoría de bandas, la banda de valencia correspondería a los niveles de energía ocupados, mientras que la banda de conducción estaría constituida por los estados electrónicos disponibles vacantes hasta que el material se excita térmica o electrónicamente (Condorchem Enviro Solutions [CES], s.f.).

- Fotoexcitación del TiO_2 ; la formación de un par electrón-hueco en la fotocatalisis del TiO_2 , los electrones de valencia responsables de mantener juntos los átomos ocupan normalmente la banda de valencia. Los electrones responsables de las propiedades electro conductoras ocupan la banda de conducción. Entre las dos bandas se encuentra la banda prohibida o brecha energética (CES, s.f.).

Figura 3

Formación del par electrón-hueco en el TiO_2 (rutilo – anatasa).



Nota: formación del par electrón-hueco en el TiO_2 (rutilo – anatasa), (Condorchem Enviro Solutions [CES], s.f.).

3.2.2.4. Características del fotocatalizador del dióxido de titanio

Fotocataliticidad; “es una propiedad mas relevante cuando el dióxido de titanio es expuesto a la luz UV, se excita generando pares electron hueco que inducen reacciones de oxidacion y reduccion sobre la superficie del material, descomponiendo compuestos organicos e inorganicos” (Liu & Awbi , 2009).

- Estabilidad química y termica; “el dióxido de titanio mantiene su estructura ante cambios de temperatura y condiciones ambientales adversas, por lo que lo ideal para aplicaciones en exteriores como pavimentos y fachadas de concreto” (Gomez & Herrera, 2022).
- Inocuidad ambiental; “es un material no toxico, lo que lo convierte en un aditivo seguro en ambientes urbanos y residenciales” (Gomez & Herrera, 2022).
- Compatibilidad con materiales cementicios; “el dióxido de titanio puede incorporarse en morteros y concreto sin afectar significativamente el proseso de fraguado o la resistencia mecanica, siempre que se utilice en proporciones adecuadas” (Liu & Awbi , 2009).
- Alta disponibilidad y bajo costo relativo; “comparado con otros nanomateriales, el dióxido de titanio es ampliamente disponible y economico, lo que hace viable para aplicaciones a gran escala en obras” (Gomez & Herrera, 2022).

3.2.2.5. Importancia del fotocatalizador del dióxido de titanio

El dióxido de titanio ha desempeñado un papel crucial en las descontaminacion ambiental, ofreciendo soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar la calidad del aire, además de su integracion en materiales de construccion y su capacidad de neutralizar

contaminantes atmosféricos por ello según Guerrini & Beeldens (2012) Lo convierte en un aliado por eso tenemos los siguiente:

- Reducción de óxidos de nitrógeno en ambientes urbanos; “el uso de materiales fotocatalíticos en superficies urbanas permite una eliminación significativa de NO_x mediante oxidación fotocatalítica, lo cual representa una solución innovadora y de bajo mantenimiento para mejorar la calidad del aire” (Guerrini & Beeldens, 2012).
- Aplicaciones en materiales de construcción; cuando el dióxido de titanio se incorpora en elementos como pavimentos, fachadas o pinturas, permite que estas superficies, al recibir luz solar, eliminen contaminantes del aire. Además, al integrarse en materiales de construcción, conserva su capacidad fotocatalítica y puede mejorar la durabilidad y apariencia del concreto. Así, aporta tanto a la funcionalidad como a la estética urbana, “Las superficies de concreto fotocatalítico representan una de las formas más prometedoras para mitigar la contaminación atmosférica urbana de forma continua y autónoma” (Hassan et al., 2010).
- Contribución a la sostenibilidad urbana; la creciente crisis ambiental ha impulsado una reflexión profunda sobre los modelos de desarrollo y la viabilidad de la vida humana a largo plazo. En este contexto, la ciudad como el principal escenario de actividad social, cultural y económica así se convierte en un espacio clave tanto de desafíos como de oportunidades. Por ello, repensar el desarrollo urbano desde un enfoque sostenible es esencial para asegurar el bienestar humano y la armonía con el entorno (Lopez, 2008).

- Autolimpiable; Este material se autolimpia sin necesidad de agentes de limpieza externos ni limpieza manual. Esto es posible gracias a la aplicación de nanomateriales a una matriz de moléculas sobre una superficie específica, lo que crea una robusta capa exterior de protección para las superficies. Esta solución tecnológica promete aumentar la durabilidad, eliminar la pérdida de energía entre las piezas mecánicas, mejorar el rendimiento y prevenir la contaminación, la acumulación de microorganismos, el polvo y la corrosión de las superficies (Envisioning, 2011).
- Tiempo de durabilidad del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto; se define como la capacidad que presenta este material para conservar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas a lo largo del tiempo, aun cuando se encuentre expuesto a condiciones ambientales agresivas o cargas de servicios; el concreto durable mantiene su resistencia, estabilidad y funcionalidad durante la vida útil de la estructura con un mantenimiento mínimo; además el usos del TiO_2 contribuye a mejoras propiedades físicas y superficiales del concreto, favoreciendo su comportamiento frente al deterioro ambiental (Ávila, 2018).

3.2.2.6. Concentraciones del fotocatalizador del dióxido de titanio

Aditivo del dióxido de titanio; es poroso a escala nanométrica presenta un mejor desempeño fotocatalítico cuando tiene una mayor área superficial, esto se debe a que una superficie más amplia permite una mayor interacción con la luz y las sustancias a degradar. Existen distintos métodos para sintetizar el TiO_2 , y cada uno de ellos puede influir

significativamente en cómo se forman los poros y en el tamaño de los cristalitos, lo que a su vez impacta en su eficiencia como fotocatalizador (Armaković et al., 2023).

Cuando se incorpora dióxido de titanio, el concreto actúa como punto de partida para evaluar cambios. A bajos porcentajes de dosis, se evidencian mejoras en la autolimpieza y cierto refuerzo mecánico; con una cantidad moderada, se alcanza un desempeño óptimo en resistencia y fotocatalisis. Sin embargo, al usar mayores proporciones sin buena dispersión, pueden surgir efectos negativos en su estructura (Huamani & Solis, 2021).

3.2.2.7. Aplicación del concreto modificado con dióxido de titanio

Según (Avila, 2018) “El concreto fotocatalítico con el dióxido de titanio es una mezcla al cual se incorporan nanopartículas del dióxido de titanio para otorgarle propiedades fotocatalíticas; la cual actúa como un fotocatalizador capaz de degradar contaminantes atmosféricos y materia orgánica cuando es activado por los rayos ultravioletas”.

- Adoquines y veredas; Al verter el concreto directamente en obra, el dióxido de titanio se mezcla en toda la masa del concreto o se aplica como un sellador o mortero superficial una vez fraguado. Asegura una purificación continua, pero requiere un control estricto de la dosificación generalmente entre 3% y 6% del peso del cemento, para no afectar la resistencia mecánica de la vereda, (Hinostroza & Vasquez, 2025).
- Pavimentos hidráulicos; que son elaborados con el dióxido de titanio han sido estudiados debido a la capacidad para reducir contaminantes atmosféricos producidos por el tránsito vehicular; además el dióxido de titanio actúa mediante un proceso fotocatalítico que transforma los compuestos nocivos como el dióxido de nitrógeno, en sustancias menos perjudiciales para el medio ambiente, este tipo

de pavimento contribuye a mantener superficies más limpias y con menor acumulación de suciedad (Fernandez, 2023).

- Tejas y cubiertas; “son fabricados con materiales cementicios modificados con dióxido de titanio poseen propiedades autolimpiables y mayor resistencia frente a los agentes ambientales y la acción fotocatalítica del TiO_2 ayuda a disminuir la acumulación de microorganismos, polvo y manchas superficiales, expuestos a radiación solar y contaminación” (Bunea, Stratulat, Mihai, & Ionut, 2023).
- Vigas a flexión; la incorporación del TiO_2 en elementos estructurales como vigas a flexión ha sido investigada principalmente para evaluar cambios en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, las nanopartículas del dióxido de titanio pueden contribuir al refinamiento de la microestructura del concreto, mejorando su comportamiento mecánico y reduciendo la formación de micro fisuras (Ávila, 2018).
- Losas de pontones; en las estructuras expuestas a la humedad y agentes ambientales, como las losas de pontones, el uso del concreto modificado con dióxido de titanio puede favorecer la durabilidad superficial y disminuir la adherencia de contaminantes orgánicos; además, la presencia del dióxido de titanio permite desarrollar superficies con capacidad autolimpiante, así reduciendo procesos de deterioro ocasionados por la exposición continua del ambiente (Caballa & Fraga, 2023).
- Mortero para revestimientos en edificaciones; “los morteros modificados con dióxido de titanio presentan propiedades autolimpiables, ayuda a degradar compuestos orgánicos acumulados sobre la superficie, así disminuyendo los

costos de mantenimiento y limpieza y contribuyen una alternativa eficiente para revestimientos arquitectónicos en edificaciones urbanas” (Martinez, 2019).

3.2.3. Mitigación de óxidos de nitrógeno

La mitigación de óxidos de nitrógeno, implica reducir la liberación de estos gases, que son tanto contaminantes atmosféricos como precursores de otros contaminantes. Esto se logra a través de diversas estrategias, incluyendo normas de emisión más estrictas para vehículos, el uso de combustibles con bajo contenido de nitrógeno, la implementación de tecnología de control de emisiones como la Reducción Catalítica (Condorchem Enviro Solutions [CES], s.f.).

Esta técnica trata de prevenir o minimizar la formación de NOX mediante la aplicación de distintas estrategias basadas en el control de temperatura y de las concentraciones de oxígeno, nitrógeno y combustible que esto se debe a que la formación de NO_x depende principalmente de la temperatura de combustión, la disponibilidad de oxígeno y el tiempo en que se exponen simultáneamente el oxígeno y el nitrógeno a la temperatura pico de la llama (Uzcátegui, 2010).

3.2.3.1. Ventajas de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Mejora la calidad del aire; la disminución de emisiones de óxidos de nitrógeno reduce significativamente la formación de contaminantes secundarios y las partículas finas, que están estrechamente asociadas a enfermedades respiratorias, las medidas de control sobre los óxidos de nitrógeno han demostrado mejoras sustanciales en la calidad del aire urbano, especialmente en zonas con alta densidad poblacional y tráfico vehicular (Yang et al., 2021).

Reducción de la lluvia ácida; los óxidos de nitrógeno son precursores de ácido nítrico, el cual, al combinarse con la humedad atmosférica, forma parte de las precipitaciones. Estas lluvias afectan negativamente los suelos, cuerpos de agua y estructuras urbanas, la mitigación

de óxidos de nitrógeno reduce significativamente la formación de lluvia ácida, ayudando la conservación ambiental y patrimonial (Lucjan, 1997).

Cumplimiento normativo; “diversos organismos internacionales y normativas locales exigen el control de emisiones de NO_x debido a su impacto en la salud y el ambiente, el cumplimiento de la regularización fortalece la responsabilidad ambiental de los gobiernos y sectores industriales” (Xing et al., 2018).

3.2.3.2. Desventajas de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Eficiencia dependiente de las condiciones ambientales; la eficiencia del dióxido de titanio es altamente sensible a factores como la humedad relativa, la intensidad de la luz UV, y temperatura. Por ejemplo, con una humedad superior al 25% o flujos de aire rápidos, la capacidad de reducción de óxidos de nitrógeno disminuye significativamente ya que impiden la interacción entre los contaminantes y el material activo (Marwa et al., 2010).

Producción de subproductos; durante el proceso de fotocatalisis el NO puede transformarse en NO_2 un gas incluso más tóxico, si el catalizador no es selectivo y puede formarse nitratos que se acumulan en la superficie. Esto depende de la química del catalizador, su selectividad y la forma de incorporación al concreto (Cordero et al., 2020)

Costos adicionales; “incorporar nano- TiO_2 aumenta el costo de la fabricación del concreto, y puede requerir recubrimientos o tratamientos adicionales. Un estudio estima un incremento del 27% en el precio de materiales de construcción, lo que puede limitar su adopción a gran escala” (Singh et al., 2021).

3.2.3.3. Identificación de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Con la tecnología para la eliminación del óxido de nitrógeno; Según Uzcátegui (2010), que las emisiones de óxidos de nitrógeno provienen de fuentes móviles (como vehículos), es necesario aplicar distintos procesos para su control, por lo cual tenemos lo siguiente:

- Proceso secundario; “Una propuesta consiste en eliminar los NO_x una vez formados y antes que abandonen la chimenea. Este grupo de técnicas de eliminación de NO_x y está en una de sus clasificaciones sobre procesos secos” (Uzcátegui, 2010).
- Procesos secos; “Son los más empleados en estos momentos, dentro de este grupo se puede distinguir el proceso catalíticos se basan en la descomposición o reducción de NO_x con el uso de un catalizador” (Uzcátegui, 2010).
- Proceso catalítico; “transforma los NO_x en N₂ y O₂ sin necesidad de reductores, pero requiere condiciones controladas y catalizadores especiales como el dióxido de titanio (TiO₂)” (Uzcátegui, 2010).

3.2.3.4. Características de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Uso de tecnologías de control; el enfoque tecnológico para reducir emisiones NO_x se centra en sistemas avanzados de reducción catalítica, lo que implica la modernización de flotas y la infraestructura de soporte, lo cual aumenta la eficiencia y calidad ambiental en el sector transporte.

Implementación de políticas y regulaciones; en el marco regulatorio peruano establece límites progresivos y exigen tecnologías compatibles para reducir las emisiones según el Ministerio del ambiente [MINAM] (2017), nos dice lo siguiente:

- Límites máximos permisibles para emisiones vehiculares; el decreto supremo N.º 010-2017-Minam, impone normativas Euro IV (vigor desde abril del 2018) para vehículos nuevos y usados, lo cual implica la reducción estimada de NO_x en hasta el 35%; también en el decreto supremo N.º 014-2016-MINAM exige combustibles con azufre mayor o igual 50ppm desde el 2023 para la mayoría del país, lo que indirectamente reduce las emisiones de NO_x, CO y COV (Ministerio del ambiente[MINAM], 2017) (Diario el Peruano [DP], 2021).
- Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. Para controlar las emisiones de agentes contaminantes se han creado para Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (MINAM, s.f.), de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación del Decreto Supremo N°044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual 1999, para Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental “Estándares de Calidad del Aire” - GESTA AIRE, con la participación de 20 instituciones públicas y privadas que ha cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire bajo la coordinación del Consejo Nacional del Ambiente (MINAM, 2001).

3.2.3.5. Importancia de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Es una gran relevancia debido a sus múltiples impactos ambientales y sociales, que van desde la contaminación del aire hasta el cambio climático según el en lo siguiente:

- Contaminación del aire; es uno de los problemas ambientales más preocupantes en el mundo actual. Es cualquier condición que altera el equilibrio del aire, implicando un cambio en las proporciones de sus componentes o la introducción en la atmósfera de elementos no deseados, es decir, materiales, sustancias o formas de energía que tienen efectos nocivos para la salud, causando daños al medio ambiente o dañando bienes materiales (Moretti et al., 2023).
- Lluvia ácida; “los NO_x interactúan con vapor acuoso y oxidantes atmosférico para formar ácido nítrico, contribuyendo de manera significativa a la lluvia ácida y afectando ecosistemas, infraestructura o biodiversidad” (Government of Canada [GC], 2013).
- Efectos en la salud humana; “la exposición de óxidos de nitrógeno se asocia con exacerbación de asma, bronquitis hasta mortalidad respiratoria, en las ciudades medianas se ha observado incremento de hasta 3% en muertes respiratorias por cada $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 ” (Carvalho et al., 2015).
- Cambio climático; “los NO_x contribuyen directamente al calentamiento global al formar ozono troposférico, un potente de gas de efecto invernadero. Además, las políticas que reducen el consumo de combustibles fósiles disminuyen también las emisiones de NO_x , generando beneficios climáticos adicionales” (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], s.f.).

3.2.3.6. Capacidad de la mitigación de óxidos de nitrógeno

Eficiencia fotocatalítica de degradación en NO_x y rodamina b; “La eficiencia fotocatalítica es un parámetro clave que indica la capacidad de un fotocatalizador para inducir

reacciones redox en presencia de luz, siendo crucial para aplicaciones en tratamiento de aguas, descontaminación ambiental y producción de energía limpia” (Fujishima et al., 2000).

Tasa de decoloración por rodamina b; “La velocidad de decoloración de Rodamina B se utiliza comúnmente como parámetro de referencia para evaluar la actividad de fotocatalizadores bajo irradiación UV, debido a la sensibilidad de este colorante a la degradación fotoinducida” (Daneshvar et al., 2004).

Tasa de decoloración por el contaminante NO_x ; “La eliminación fotocatalítica de NO_x en presencia de luz UV y TiO_2 es uno de los mecanismos más eficaces para reducir estos contaminantes del aire urbano, siendo su eficiencia evaluada mediante la tasa de degradación medida por técnicas específicas de monitoreo ambiental” (Dalton et al., 2022).

La evaluación de las propiedades fotocatalíticas; “según el Organismo italiano de normalización (UNI 11259) se determinó el factor de fotodegradación R, para las 4 horas y 26 horas. Para este ensayo de degradación de colorante orgánico rodamina B se utilizó un colorante violeta llamado rodamina B en las muestras de adoquín, realizada la exposición a rayos UV-A, el factor de fotodegradación” (Gutierrez & Yucra, 2024).

Tiempo de reacción; en un proceso fotocatalítico se refiere al periodo durante el cual una mezcla de contaminantes y un fotocatalizador es irradiada con una fuente de luz (ultravioleta o visible) para activar el proceso de degradación. Este parámetro es esencial porque determina la cantidad de energía luminosa absorbida por el catalizador y, por lo tanto, la cantidad de especies reactivas que se generan para atacar y transformar los contaminantes (Gutierrez & Yucra, 2024).

El tiempo de irradiación a la luz; “La duración de la irradiación es uno de los parámetros más importantes en los sistemas fotocatalíticos, ya que afecta directamente la tasa de generación de especies reactivas y, por ende, la eficiencia del proceso de degradación” (Chong & Jin, 2010).

3.3. Definición de términos

- Autolimpieza; “es una superficie autolimpiable es aquella que elimina fácilmente la suciedad y las bacterias. Esto significa que, por ejemplo, al llover, el agua de lluvia limpia sin necesidad de intervención externa” (Lauren, s.f.).
- Cemento; “es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua” (Sanjuán & Chinchón, s.f.).
- Concentraciones; “es la cantidad de soluto por unidad de volumen de disolución (también puede expresarse por unidad de masa, de solvente o de solución” (Raviolo et al.2021)
- Concreto; “es la mezcla del cemento, agregados inertes como arena, grava y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial” (Anonimo, s.f.).
- Contaminación del aire; “consiste en la presencia de materias o formas de energía en el aire que pueden suponer un riesgo, daño o molestia de diferente gravedad para los seres vivos” (Fundación Aquae [FA], 2021).
- Curado; “es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor” (Cemeneto YURA [CY], s.f.).

- Dióxido de titanio; es un compuesto inorgánico de color blanco, se encuentra en la naturaleza en fase sólida y está formado por la unión de un átomo de titanio y dos átomos de oxígeno, dando como resultado la fórmula química TiO_2 ; Algunas de sus características más importantes son: alta estabilidad física y química, no es tóxico para el ser humano, es abundante en el planeta y es biocompatible y una de sus características es la eliminación de contaminantes orgánicos cuando son irradiados con luz (Hernández et al., 2021).
- Espectrómetro más esfera de integración; es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, analizando la luz que es absorbida, emitida o dispersada por un objeto que permite el reconocimiento de minerales, la detección de analitos en matrices complejas, la cuantificación de los mismos, la diferenciación entre formas polimórficas, entre otras opciones (Inquisur Conicet[IC], s.f.).
- Fotocatalizador; “es un material generalmente semiconductor, que se activa bajo la influencia de la luz (generalmente ultravioleta) para acelerar o iniciar reacciones químicas” (Campos, 2020).
- granulometría; “es la distribución, en porcentaje, de los diversos tamaños del agregado (arena) en una muestra” (Toirac, 2012).
- Mitigación; “la disminución o minimización de los impactos adversos de un evento peligroso, pero su escala o gravedad puede reducirse sustancialmente mediante diversas estrategias y acciones” (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2017)

- Norma UNI 11259: 2016; “la norma describe un método para la determinación de la actividad fotocatalítica de los ligantes hidráulicos mediante un método colorimétrico (Rodamina B)” (Comixdex, 2024).
- Óxidos de nitrógeno; “son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de ambas sustancias” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MTERD], 2007).
- Rayo ultravioleta; “son rayos invisibles que forman parte de la energía que proviene del sol; la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra, además también se puede tener artificialmente” (Instituto Nacional Del Cancer [INC], s.f.).
- Reacción; “se define como una respuesta o consecuencia a una acción o estímulo” (Raviolo et al.2011).
- Solución de la rodamina b; es un colorante anfótero comúnmente utilizado como fluorocromo. Cumple funciones como fluorocromo, sonda fluorescente y colorante histológico. Es una sal de cloruro orgánico y un colorante xanteno (National Center for Biotechnology Information[NCBI], s.f.).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de la investigación

4.1.1. *Enfoque de la investigación*

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, mediante procedimientos estandarizados, porque se midió y analizo la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio incorporando en el concreto para la mitigación de óxidos de nitrógeno; para ello, se utilizó la Rodamina B como indicador del proceso fotocatalítico en el cual, se elaboró tres ensayos donde se evaluaron concentración, tiempo de reacción y la variación de la coloración, obteniendo datos numéricos.

El enfoque cuantitativo para Hernández et al. (2014), se basa en un proceso sistemático, secuencial y lógico para investigar fenómenos observables y medibles. Comienza con la delimitación clara de un problema y el planteamiento de hipótesis que serán evaluadas mediante diseños de investigación apropiados.

4.1.2. *Tipo de investigación*

La investigación es de tipo aplicada se caracteriza por buscar soluciones, en este caso se permitió evaluar el comportamiento fotocatalítico del concreto modificado con el dióxido de titanio, considerando la concentración, tiempo de reacción y la variación colorimétrica para obtener los resultados.

El tipo de investigación es aplicada de acuerdo a lo señalado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, s.f.), “Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos. Se realiza para determinar los posibles usos de los resultados de investigación básica, o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar

objetivos específicos predeterminados, lo que implica un intento de solucionar problemas específicos” (p.27).

4.1.3. Nivel de investigación

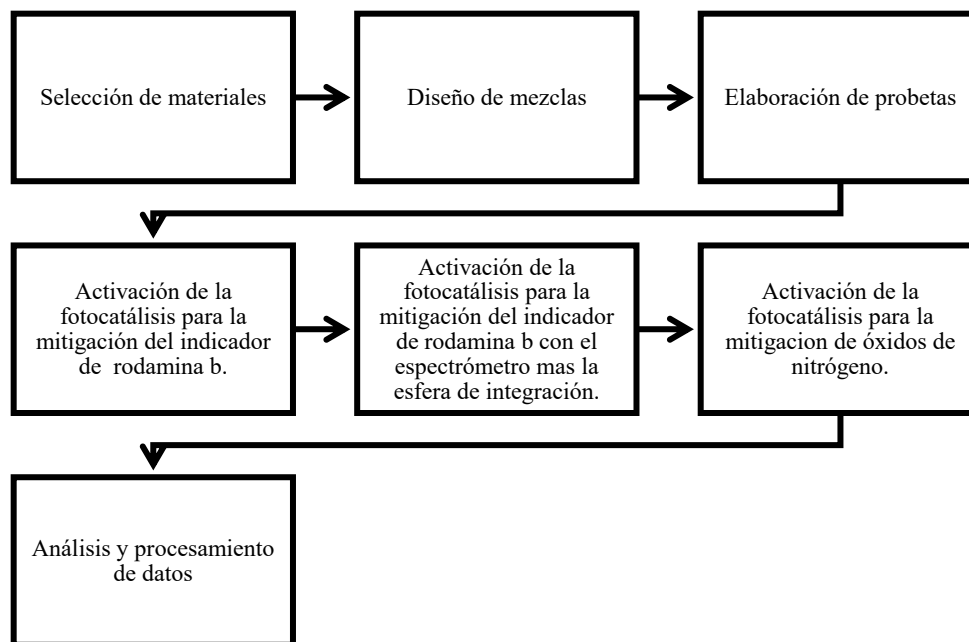
En la investigación correlacional se da por la relación existente en la incorporación del dióxido de titanio en el concreto y la mitigación del óxido de nitrógeno; la cual, nos permitió analizar la variación de la variable independiente y dependiente para el análisis experimental.

Nivel de investigación correlacional según Ramos (2020), “surge de la necesidad de plantear una hipótesis en la cual se proponga una relación entre dos o más variables, además surge la aplicación de procesos estadísticos inferenciales que buscan extrapolar los resultados de la investigación para beneficiar a toda la población” (p. 3).

4.1.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental, se manipulo la variable independiente para la incorporación de diferentes porcentajes del dióxido de titanio para la mezcla del concreto, con el fin de evaluar el efecto en la variable dependiente de la mitigación de óxidos de nitrógeno, se desarrolló en el laboratorio de forma controlada, permitiendo observar y medir los cambios producidos en las muestras sometidas a evaluación fotocatalítica.

De experimento puro según Hernández et al (2014), “es aquel en el que se manipula una o varias variables independientes para observar sus cambios en las variables dependientes en situación de control; es decir, que los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende el posible efecto de una causa que se manipula”.

Figura 4*Procedimiento experimental*

Nota: Procedimiento experimental para la investigación

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

El estudio se realizó en el laboratorio “LUNIX” de la ciudad de Abancay en el departamento de Apurímac, desde enero del 2025 a mayo del 2025, en todo este lapso de tiempo se desarrolló la investigación que duro 5 meses.

4.2.2. *Ámbito espacial*

La investigación en la fase experimental se realizó en la ciudad de Abancay en el siguiente cuadro:

Tabla 2

Ubicación del laboratorio

UBICACIÓN DEL LABORATORIO “LUNIX”	
Ubicación	Coordenadas Geográficas
Dirección: Av. Antonio salas Berthy	Latitud: 13° 38' 33" sur
Distrito: Abancay	Longitud: 72° 52' 54" oeste
Provincia: Abancay	Altitud: 2378 m s. n. m.
Región: Apurímac	

Nota: Ubicación del laboratorio

Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Mapa de ubicación del laboratorio



Nota: Mapa de ubicación del laboratorio (Google Maps, 2025)

- Recolección de agregados se realizó en la cantera murillo.

Tabla 3

Ubicación de la cantera

UBICACIÓN DE LA CANTERA “MURILLO”	
Ubicación	Coordenadas Geográficas
Dirección: Pachachaca	Latitud: 13° 38' 33" sur
Distrito: Abancay	Longitud: 72° 52' 54" oeste
Provincia: Abancay	Altitud: 2378 m s. n. m.
Región: Apurímac	

Nota: Ubicación de la cantera Murillo

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Mapa de ubicación de la Cantera



Nota: Mapa de ubicación de la cantera Murillo (Google Maps, 2025)

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población del presente estudio está constituida por 20 probetas cilíndricas para el ensayo del indicador Rodamina B con Software “Image J”, 20 probetas para el ensayo de la Rodamina B con el “Espectrómetro más la esfera de integración” y 20 para el ensayo de mitigación de óxidos de nitrógeno con Software “Image J” teniendo un total de 60 probetas cilíndricas de mezclas de concreto; en la cual, se incorporó dióxido de titanio (TiO_2) al 0%, 3%, 6% y 9% como agente fotocatalítico; por lo cual, han sido elaborados por cemento “sol” tipo I y agregados de la cantera Murillo, destinadas a ser expuestas específicamente con el indicador Rodamina B y óxidos de nitrógeno (NO_x); estas mezclas tienen como propósito evaluar el potencial del concreto fotocatalítico en la mitigación de contaminantes derivados de la combustión vehicular en la ciudad de Abancay.

Para Arias (2016), es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Es necesario aclarar que cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.; para estos últimos, podría ser más adecuado utilizar un término análogo, como universo de estudio (p.202).

4.3.2. Muestra

La muestra según Carnacho (s.f.), “se puede categorizar en dos tipos: la muestra no probabilística y la muestra probabilística. La elección del tipo de muestra depende de los objetivos del estudio, del esquema de la investigación y de la contribución que se piense hacer” (p. 122).

4.3.3. Tipo de muestra

La muestra empleada es no probabilística, dado que las muestras fueron seleccionadas intencionalmente bajo criterio, considerando proporciones del dióxido de titanio y condiciones necesarias para el desarrollo de cada ensayo y cumpliendo con los parámetros establecidos para evaluar la capacidad fotocatalítica del concreto.

El tipo de muestra no probabilístico para Hernández (2021), es una forma de seleccionar una muestra en la que no todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos, este tipo de muestreo es muy utilizado en estudios exploratorios, de laboratorio o cuando no se puede acceder a toda la población objetivo.

4.3.4. Muestreo

Muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que las probetas fueron elaboradas y seleccionadas de acuerdo con condiciones y requerimientos del estudio experimental.

Para Padró (2020), “en la ciencia empírica se refiere al tipo de información que tendrán que tener en cuenta los científicos para conocer la realidad” (p. 5).

- Activación de la fotocatalisis para la mitigación con el indicador de rodamina B

Se hicieron especímenes de probetas cilíndricas (altura 3cm, diámetro 10cm), la cantidad de la muestra será 5 para cada porcentaje de adición del dióxido de titanio y el cual tendrá un total de 20 muestras.

Tabla 4

Cantidad de muestras para la mitigación del indicador de Rodamina B

Porcentajes de TiO₂	Cantidad
0%	5
3%	5
6%	5
9%	5
TOTAL	20

Nota: Cantidad de muestras para la degradación de la solución de Rodamina B

Fuente: Elaboración propia

- Activación de la fotocatalisis para la mitigación con el indicador rodamina B con espectroscopia más la esfera de integración

Se hicieron especímenes de probetas cilíndricas (altura 5cm, diámetro 4.5cm), la cantidad de la muestra será 5 para cada porcentaje de adición del dióxido de titanio y el cual tendrá un total de 20 muestras.

Tabla 5

Cantidad de muestras para la mitigación del indicador Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración

Porcentajes de TiO₂	Cantidad
0%	5
3%	5
6%	5
9%	5
TOTAL	20

Nota: Cantidad de muestras para la degradación de la solución de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración.

Fuente: Elaboración propia

- Activación de la fotocatalisis para la mitigación de óxidos de nitrógeno (NO_x)

Se hicieron especímenes de probetas cilíndricas (altura 3cm, diámetro 10cm), la cantidad de la muestra será 5 para cada porcentaje de adición del dióxido de titanio y el cual tendrá un total de 20 muestras.

Tabla 6

Cantidad de muestras para la mitigación de óxidos de nitrógeno

Porcentajes de TiO_2	Cantidad
0%	5
3%	5
6%	5
9%	5
TOTAL	20

Nota: cantidad de muestras para la degradación de óxidos de nitrógeno

Fuente: Elaboración propia

4.4. Instrumentos

De acuerdo a lo señalado por la Universidad del Desarrollo Centro de Innovación Docente (UDCID, s.f.), el o los instrumentos de recolección de información deben estar vinculados y alineados con la selección del diseño de investigación y la muestra apropiados al problema de investigación propuesto. La selección de estos instrumentos presenta un plan detallado del procedimiento que conduce al investigador a cumplir con los objetivos específicos

- **Instrumento ficha de recolección de datos**

Ficha de control de tiempo de exposición de UV; este instrumento de observación estructurada y registro temporal pues asegura la sistematicidad en la medición de la variable de tiempo de reacción que tuvo como finalidad llevar el control detallado del periodo en que las

muestras permanecieron bajo la radiación de ultravioleta, la ficha incluye campos para asignar la fecha, la hora de inicio de finalización, el tipo de luz y la duración total de exposición; además, se consideró las concentraciones y los tres tiempos de análisis de 0 horas, 4 horas y 26 horas.

Ficha de análisis de color con el software “Image J”; en el objetivo de cuantificar la variación de color como indicador indirecto de la actividad fotocatalítica, las cuales se emplearon fichas de registro basadas en el procesamiento digital de imágenes a través del programa “Image J”, en estas se anotaron los valores obtenidos en los espacios de color de CIEL*a*b*, así como los porcentajes de degradación en R4 y R26, para el indicador contaminante Rodamina B, y WEIGHTED para el contaminante de los óxidos de nitrógeno, la naturaleza de esta ficha es la de un instrumento de procesamiento digital y observación cuantitativa, ya que convierte imágenes en datos numéricos que permiten evaluar la intensidad del cambio cromático.

Ficha de análisis de color por espectrómetro más la esfera de integración; este formato estuvo orientado a registrar los valores de L*a*b* obtenidos mediante espectrómetro, lo que posibilitó una medición más precisa de la variación cromática de cada muestra, se compararon los valores iniciales y posteriores a las 4 y 26 horas de exposición, calculando los porcentajes de variación en cada hora para determinar la capacidad fotocatalítica, se considere un instrumento de medición espectrofotometría de laboratorio ya que se utilizó equipos especializados que garantizan objetividad y exactitud en la cuantificación de la variable de coloración.

4.4.1. *Materiales y equipos*

Materiales de escritorio:

- Lapicero
- Lápiz
- Rotulador
- Cuaderno
- Fichas de recolección de datos
- Cinta masking
- Pizarra de 30 cm²
- Plumones (rojo, azul y negro)

Materiales de laboratorio:

- Mandil
- Aditivo del dióxido de titanio
- Balanza
- Probeta de 500 ml
- Vaso precipitado
- Bagueta de laboratorio
- Pipeta
- Pincel
- Indicador de Rodamina B
- Agua destilada
- Probetas de concreto de 0%, 3%, 6% y 9%

- Cemento tipo I
- Arena fina
- Arena gruesa
- Agua

Equipos:

- Cámara fotográfica
- Luces blancas 2 unidades de 40 watts
- Luces UV 6 unidades de 36 watts
- Cámara de luz blanca
- Cámara de luz UV
- Cámara de contaminación (convencional)
- Computadora
- Espectrómetro más la esfera de integración

Software y Microsoft:

- Excel
- Word
- RGB (L*a*b*) y WEIGHTED “Image J”

4.5. Procedimientos

4.5.1. *Diseño de mezcla*

Paso 01; Recolección de materiales; en esta primera etapa se eligieron componentes básicos del concreto; como los agregados fino y grueso que fueron recolectados de la cantera “Murillo”, cemento, agua y aditivo del dióxido de titanio de “Tronox”.

Figura 7

Recolección de agregados



Nota: Recolección de agregado

Figura 8

Aditivo del dióxido de titanio



Nota: Aditivo del dióxido de titanio

Paso 02; Cálculo de dosificación del material; para ello se realizó cálculo de cilindro en volumen para ver sus proporciones de cantidad de cada material (cemento, arena gruesa, arena fina, dióxido de titano y agua), lo primero es calcular el molde del espécimen que tiene una altura de 3cm y un diámetro de 10 cm para ser cálculo de la siguiente forma:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * h$$

En el cual el volumen comprimido salió 235.6194 cm³, la cual se hizo una conversión de volumen:

$$1cm^3 = 1 * 10^{-6}m^3$$

Por eso el volumen es de 0.000235 m³, para establecer la densidad del cemento, arena gruesa y fina, además del agua y finalmente el dióxido de titanio, para las porciones de cada probeta cilíndrica.

Paso 03; pesado de cada material arena gruesa, arena fina, cemento, agua y dióxido de titanio

Figura 9

Pesado de materiales



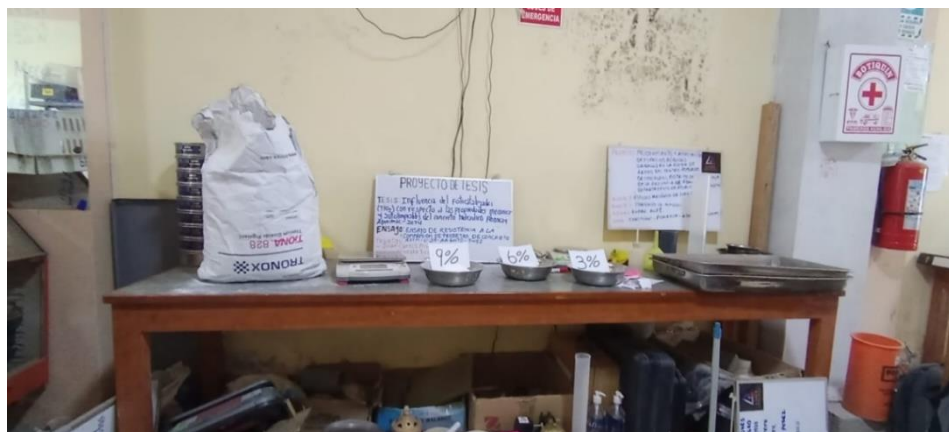
Nota: Pesado de materiales

Figura 10

Pesado del agregado



Nota: Pesado del agregado

Figura 11*Pesado del aditivo del dióxido de titanio*

Nota: Pesado del aditivo del dióxido de titanio

Paso 04; mezclado de cada material arena gruesa, arena fina, cemento y agua para las probetas cilíndricas como corresponde.

Figura 12*Mezcla para el concreto*

Nota: Mezcla para el concreto

Paso 05; Incorporación del dióxido de titanio, en cada mezcla con porcentajes de 3%, 6% y 9% respectivamente.

Figura 13

Incorporación del dióxido de titanio en 3%, 6% y 9% en la mezcla



Nota: Incorporación del dióxido de titanio en 3%, 6% y 9% en la mezcla

Paso 06; secado de las probetas cilíndricas de cemento con y sin adición de dióxido de titanio y finalmente el curado de las probetas por 14 días.

Figura 14

Probetas cilíndricas del concreto con y sin aditivo del dióxido de titanio



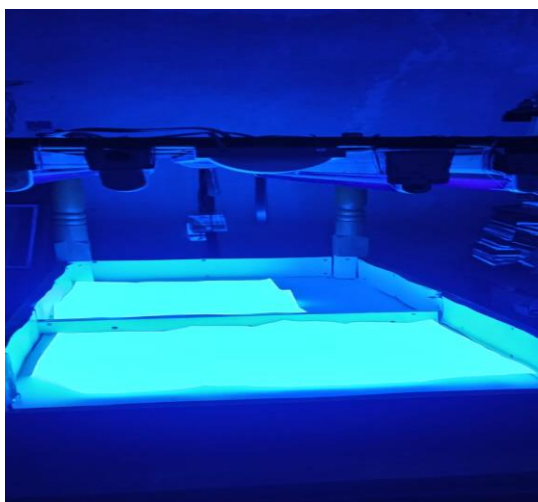
Nota: probetas cilíndricas del concreto con y sin aditivo del dióxido de titanio

4.5.2. Ensayo para la mitigación de óxidos de nitrógeno

Paso 01; tener una cámara de luz blanca UV, limpio y ordenado.

Figura 15

Cámara de luz UV



Nota: Encendido de la cámara de luz UV

Paso 02; Tener cámara fotográfica lista en formatos ISO 200 y flash desactivado, tiempo de exposición 1+1/3 blanco automático AWB a una altura de 20 cm, además de un reloj o cronometro para controlar el tiempo de exposición en la cámara UV por 0 horas y 26 horas.

Paso 03; Tener las probetas cilíndricas de concreto 5 unidades de 0%, 3%, 6% y 9%, que será un total de 20 unidades, la cual deberá estar rotulado según corresponda a los porcentajes de TiO_2 .

Paso 04; tener una cámara de gases cerrada convencional para contaminar las probetas cilíndricas de concreto las 20 unidades, las cuales será contaminadas por 4 horas aproximadamente por el escape directo de vehículos motorizados.

Figura 16

Contaminación de las muestras 0%, 3%, 6% y 9% con óxidos de nitrógeno

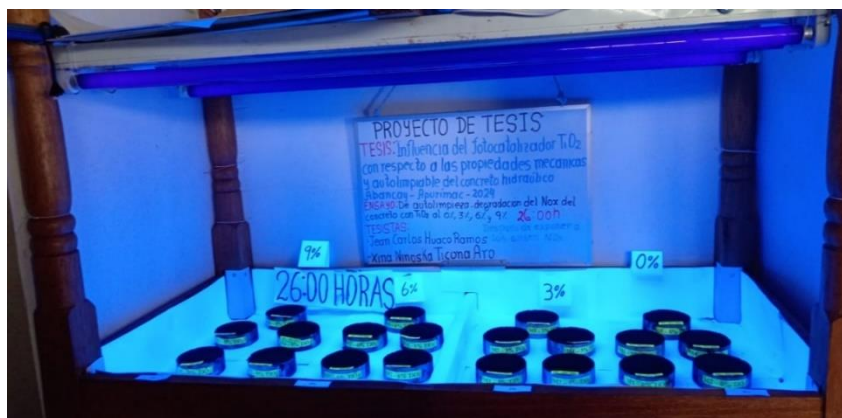


Nota: Contaminación de las muestras 0%, 3%, 6% y 9% con óxidos de nitrógeno

Paso 05; luego serán expuestos a la cámara de luz UV las probetas contaminadas de 0%, 3%, 6% y 9% por un rango de 0 horas y tomar fotografías de cada probeta y volverlos a colocar en la cámara de luz UV.

Figura 17

Muestras en la cámara de UV

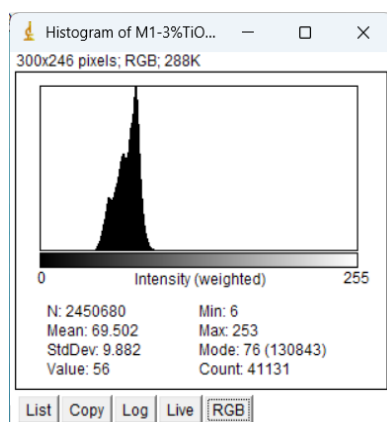


Nota: Muestras en la cámara UV

Paso 06; se controlará a 26 horas para volver a tomarles la fotografía correspondiente e ingresar los datos a software “image J” para ver los resultados.

Figura 18

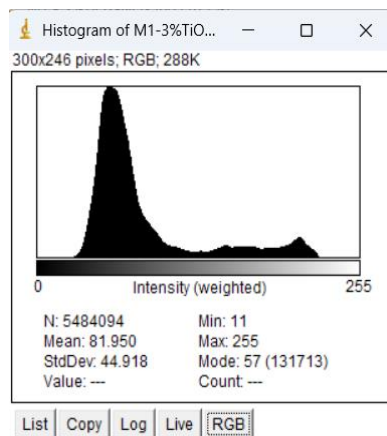
Obtención de valores de Mean en 0 horas



Nota: Obtención de valores Mean en 0 horas

Figura 19

Obtención de valores de Mean en 26 horas



Nota: Obtención de valores de Mean en 26 horas

4.5.3. *Ensayo para la mitigación del indicador de Rodamina b*

Paso 01; tener una cámara de luz blanca UV, limpio y ordenado.

Paso 02; Tener cámara fotográfica lista en formatos ISO 200 y flash desactivado, tiempo de exposición 1+1/3 blanco automático AWB a una altura de 20 cm, además de un reloj o cronometro para controlar el tiempo de exposición en la cámara UV por 0 horas, 4 horas y 26 horas.

Paso 03; Tener las probetas cilíndricas de concreto 5 unidades de 0%, 3%, 6% y 9%, que será un total de 20 unidades, la cual deberá estar rotulado según corresponda a los porcentajes de TiO_2 .

Figura 20

Materiales para la mitigación del indicador de Rodamina B



Nota: Materiales que se utilizaron para la degradación de Rodamina B

Paso 04; Tener los cálculos y materiales para preparar la Rodamina B (libreta, lápiz, rodamina b, pincel, agua destilada, etc.)

Paso 05; Pesar 0.05 mg/100ml de rodamina b, para tener fluorescencia intensa bajo la luz UV sin ser demasiado concentrado para poder teñir el concreto de TiO_2

Paso 06; En una probeta de 500 ml medir agua destilada 100 ml y adicionar 0.05 mg de rodamina b y disolver.

Figura 21

solución de la Rodamina B



Nota: solución de la Rodamina B

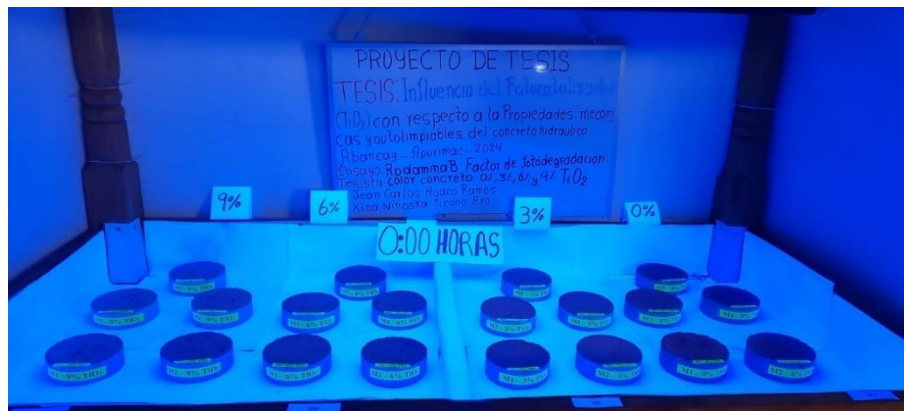
Paso 07; Para los especímenes de superficie de 78.54 cm^2 (10 de diámetro y 3 cm de altura) agregar 1.5 ml de rodamina b, ayudarse con un pincel para expandir y dejar secar por 20 minutos a temperatura ambiente.

Paso 08; tener fotos de cada muestra con rodamina b a las 0 horas con la luz blanca de 80 watts.

Paso 09; Pasamos las muestras con rodamina b (0%,3%, 6% y 9%) a la cámara UV de 6 luces con una iluminación de 36 watts de 1.20 m, por 4 horas, controlando el tiempo después de 4 horas y fotografiar las muestras.

Figura 22

Cámara de UV para el indicador Rodamina B

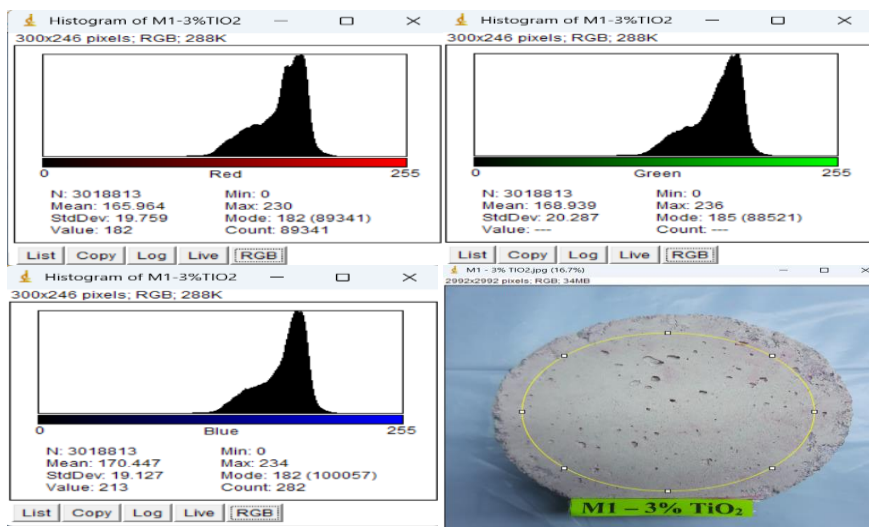


Nota: Cámara de UV para el indicador Rodamina B

Paso 10; Luego volver a poner las muestras con rodamina b (0%,3%, 6% y 9%) en la cámara de luces UV por 26 horas, controlando el tiempo de exposición, después de las 26 horas fotografiar las muestras e ingresarlo “ImageJ” para luego obtener los resultados de $L^*a^*b^*$.

Figura 23

Muestra de 3% en 4 horas para obtener los datos de RGB



Nota: Muestra de 3% en 4 horas para obtener los datos de RGB

Paso 11; analizar las ecuaciones según a la norma UNI 11259 para obtener los resultados correspondientes.

Ecuación 1

$$R4 = \frac{a * (0h) - a * (4h)}{a * (0h)} * 100$$

Ecuación 2

$$R26 = \frac{a * (0h) - a * (26h)}{a * (0h)} * 100$$

Donde:

- $a*(0h)$ es factor a las cero horas
- $a*(4h)$ es factor a las 4 horas
- $a*(26h)$ es factor a las 26 horas

Debe cumplir según a la norma UNI 11259 lo siguiente:

- R4 (%) promedio > 20%
- R26 (%) promedio > 50%

4.5.4. *Ensayo para la mitigación del indicador de Rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración*

Paso 01; tener una cámara de luz blanca UV, limpio y ordenado.

Paso 02; Tener las probetas cilíndricas de concreto 5 unidades de 0%, 3%, 6% y 9%, que será un total de 20 unidades, la cual deberá estar rotulado según corresponda a los porcentajes de TiO_2 .

Figura 24

Muestras de 0%, 3%, 6% y 9% para la mitigación de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración.



Nota: Muestras de diferentes porcentajes para la degradación del indicador de rodamina b con espectroscopía más esfera de integración

Paso 03; luego serán expuestos a la cámara de luz Uv las probetas con el indicador de 0%, 3%, 6% y 9% por un rango de 0 horas y tomar fotografías de cada probeta y volverlos a colocar en la cámara de luz Uv.

Figura 25

Las muestras en la cámara UV



Nota: Muestras del indicador contaminante de rodamina b en la cámara UV

Paso 04; se controlará a 26 horas para volver a tomarles los resultados con la espectroscopia más la esfera de integración, para ver la degradación de color de las muestras

Figura 26

Espectrómetro más esfera de integración



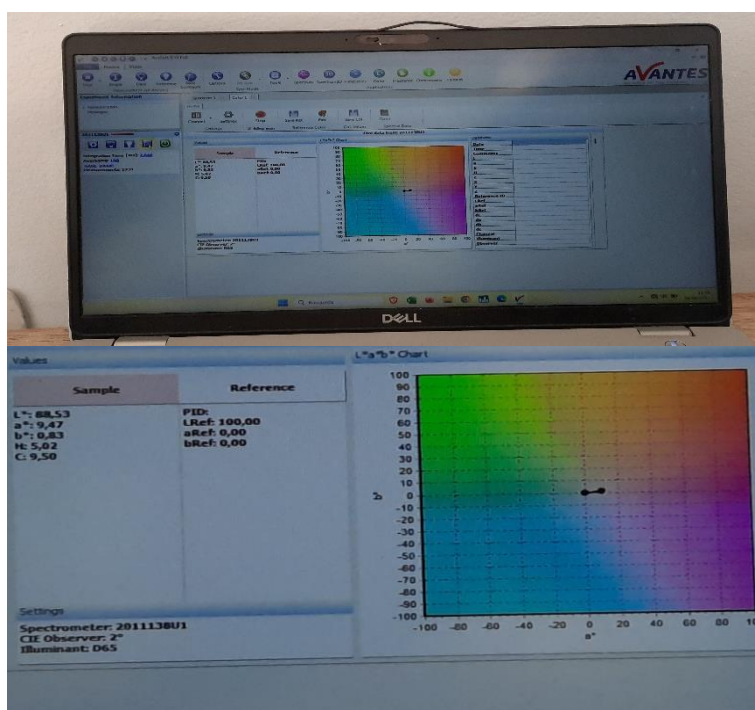
Nota: Espectroscopia más esfera de integración para obtener directamente $L^*a^*b^*$

Paso 05; Luego volver a poner las muestras con rodamina b (0%,3%, 6% y 9%) en la cámara de luces UV por 26 horas, controlando el tiempo de exposición, después de las 26 horas

e ingresarlas al espectrómetro más la esfera e integración y recopilar los datos para los resultados.

Figura 27

*Muestra de 0%, 3%, 6% y 9% para obtener los resultados de $L^*a^*b^*$*



Nota: Muestra de 0%, 3%, 6% y 9% para obtener los resultados de $L^*a^*b^*$ con el espectrómetro más la esfera de integración

4.6. Análisis de datos

Los datos recolectados durante la investigación fueron organizados y procesados mediante la elaboración de fichas de recolección de datos, tablas y figuras , además se empleó el análisis de varianza (ANOVA) como herramienta estadística principal debido a su amplio uso y efectividad en investigaciones experimentales; este método es útil para contrastar hipótesis relacionadas con dos o más medidas poblacionales, para determinar si existe diferencias significativas entre ellas; este procedimiento evalúa los efectos de los factores experimentales considerados en el estudio. Así mismo, se utilizó la prueba (Tukey, Friedman y Wilcoxon) como método complementario resultado fundamental para determinar con mayor precisión entre tratamientos existían diferencias estadísticas significativas, permitiendo así establecer que combinaciones de concentración y tiempo ofrecían un rendimiento superior, al utilizar estas dos técnicas proporciono una base sólida para interpretar los resultados de forma objetiva y rigurosa.

4.7. Consideraciones éticas

Como investigador, es mi responsabilidad actuar con integridad, responsabilidad y compromiso absoluto con la honestidad en la recopilación, análisis, interpretación y presentación de datos, además los resultados serán reportados con objetividad sin alteraciones que puedan comprometer la validez de las conclusiones, también de que la investigación ha cumplido con principios de la integridad académica establecidos por la universidad, no se ha incurrido a plagio y siempre teniendo en cuenta las reglas del formato APA séptima edición.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resultado del diseño de mezcla del concreto con adición del dióxido de titanio en 0%, 3%, 6% y 9%.

Tabla 7

Cantidad de material para la mezcla de la probeta cilíndrica (10 x 3 cm) en volumen comprimido

CANTIDADES MATERIAL PARA EL CONCRETO CON TiO₂ (Para 20 probetas cilíndricas)				
MATERIAL	0%	3%	6%	9%
Cemento	36.52 g	36.52 g	36.52 g	36.52 g
Arena gruesa	79.33 g	79.33 g	79.33 g	79.33 g
Arena fina	101.56 g	101.56 g	101.56 g	101.56 g
Agua	18.22 g	18.22 g	18.22 g	18.22 g
Aditivo del TiO ₂	0g	7.07g	14.14g	21.21g
TOTAL	235.62 g	242.70 g	249.77 g	256.84 g

Nota: Cantidad de material para la mezcla de la probeta cilíndrica (10 x 3 cm) en volumen comprimido

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos del estudio utilizo 20 probetas cilíndricas de 10 x 3 cm para evaluar las diferentes concentraciones de dióxido de titanio en la mezcla de concreto, se prepararon cuatro grupos de muestras con concentraciones de TiO₂ de 0%, 3%, 6% y 9% la cual se utilizó las siguientes cantidades de material; cemento 36.52 g, arena gruesa: 79.33, arena fina 101.56, agua 10.22 g y finalmente el aditivo para cada porcentaje en 0 g, 7.07g, 14.14g y 21.21 g. y esto se duplico para 20 muestras más.

Tabla 8

Cantidad de material para la mezcla de la probeta cilíndrica (5 x 6 cm) en volumen comprimido

CANTIDADES MATERIAL PARA EL CONCRETO CON TiO₂ (Para 20 probetas cilíndricas)				
MATERIAL	0%	3%	6%	9%
Cemento	18.26 g	18.26 g	18.26 g	18.26 g
Arena gruesa	39.33 g	39.33 g	39.33 g	39.33 g
Arena fina	50.78 g	50.78 g	50.78 g	50.78 g
Agua	9.11 g	9.11 g	9.11 g	9.11 g
Aditivo del TiO ₂	0g	3.53g	7.07g	10.60g
TOTAL	117.48 g	121.01 g	124.55 g	128.08 g

Nota: Cantidad de material para la mezcla de la probeta cilíndrica (5 x 6 cm) en volumen comprimido

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos del estudio utilizo 20 probetas cilíndricas de 5 x 6 cm para evaluar las diferentes concentraciones de dióxido de titanio en la mezcla de concreto. Se prepararon cuatro grupos de muestras con concentraciones de TiO₂ de 0%, 3%, 6% y 9% la cual se utilizó las siguientes cantidades de material; cemento 18.26 g, arena gruesa: 39.33, arena fina 50.78, agua 9.11 g y finalmente el aditivo para cada porcentaje en 0 g, 3.53g, 7.07g y 10.60 g.

5.1.2. Resultado para la mitigación del indicador Rodamina B en el concreto de concentración del 0%, 3%, 6% y 9%

Tabla 9

Resultados de la mitigación del indicador Rodamina B en 4 horas

MUESTRA	CIELAB		R4 %	R4 %
	a*(0h) 8:10 am (22/03/2025)	a*(4h) 12:10 pm (22/03/2025)		
MUESTRA AL 0%				
M1 - 0%	19.974	6.805	65.93	14.14
M2 - 0%	24.832	14.77	40.52	
M3 - 0%	18.53	21.59	-16.51	
M4 - 0%	24.461	24.573	-0.46	
M5 - 0%	22.548	26.788	-18.80	
MUESTRA AL 3%				
M1 - 3%	36.838	0.768	100.00	98.13
M2 - 3%	28.482	0.764	97.32	
M3 - 3%	31.107	0.768	97.53	
M4 - 3%	29.446	0.651	97.79	
M5 - 3%	32.866	0.65	98.02	
MUESTRA AL 6%				
M1 - 6%	24.699	0.651	97.36	98.04
M2 - 6%	18.6	0.649	96.51	
M3 - 6%	19.714	0.358	98.18	
M4 - 6%	30.218	0.066	99.78	
M5 - 6%	21.823	0.356	98.37	
MUESTRA AL 9%				
M1 - 9%	20.729	0.356	98.28	99.05
M2 - 9%	30.025	0.354	98.82	
M3 - 9%	24.21	0.047	99.81	
M4 - 9%	27.377	0.066	99.76	
M5 - 9%	25.062	0.357	98.58	

Nota: Resultados de la degradación del indicador rodamina b en 4 horas

Fuente: Elaboración propia

A los datos obtenidos de la tabla N°9 en 4 horas conforme a la norma UNI 11259 que establece un valor mínimo requerido del 20% para considerar que un material presenta capacidad fotocatalítica efectiva, se observa que la muestra al 0% de TiO_2 no cumple con este criterio, ya que su R4 promedio es de 14.14%, inferior al umbral normativo; en cambio los demás con 3%, 6% y 9% de TiO_2 superan ampliamente el 20 % con promedios de 98.04, 98.13 %, % y 99.05 % , respectivamente lo que indica un comportamiento fotocatalítico adecuado y conforme a la norma.

Tabla 10*Resultados de la mitigación del indicador Rodamina B en 26 horas*

MUESTRA	CIELAB		R26 %	R26 %
	a*(0h) 8:10 am (22/03/2025)	a*(26h) 10:10 am (23/03/2025)		
MUESTRA AL 0%				
M1 - 0%	19.974	5.271	73.61	15.437
M2 - 0%	24.832	31.042	25.01	
M3 - 0%	18.53	22.39	22.39	
M4 - 0%	24.461	16.668	31.86	
M5 - 0%	22.548	18.59	17.55	
MUESTRA AL 3%				
M1 - 3%	36.838	0.358	100.00	99.189
M2 - 3%	28.482	0.358	98.74	
M3 - 3%	31.107	0.466	98.50	
M4 - 3%	29.446	0.066	99.78	
M5 - 3%	32.866	0.354	98.92	
MUESTRA AL 6%				
M1 - 6%	24.699	0.357	98.55	98.601
M2 - 6%	18.6	0.354	98.10	
M3 - 6%	19.714	0.355	98.20	
M4 - 6%	30.218	0.066	99.78	
M5 - 6%	21.823	0.355	98.37	
MUESTRA AL 9%				
M1 - 9%	20.729	0.047	99.77	98.953
M2 - 9%	30.025	0.357	98.81	
M3 - 9%	24.21	0.356	98.53	
M4 - 9%	27.377	0.356	98.70	
M5 - 9%	25.062	0.357	98.58	

Nota: Resultados de la degradación del indicador de Rodamina B en 26 horas

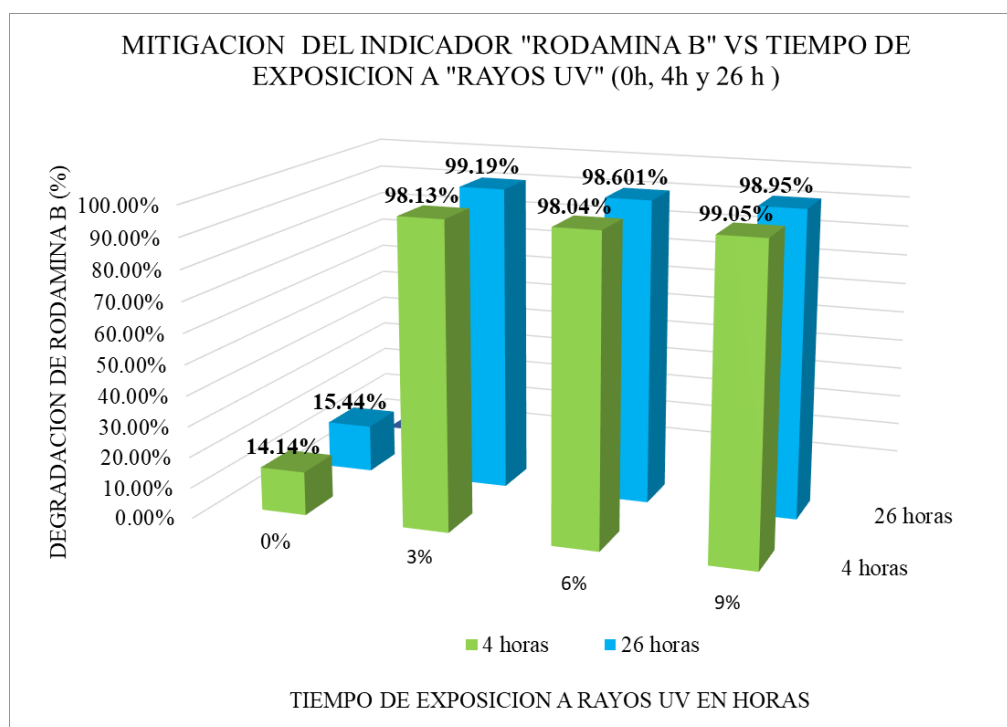
Fuente: Elaboración propia

Conforme a los datos obtenidos de la tabla N°10 en 26 horas conforme a la norma UNI 11259 que establece de que el valor debe ser mayor a 50 % para considerar que el material presenta capacidad fotocatalítica efectiva, se observa que en la muestra al 0% de TiO₂ no

cumple, ya que su R26 promedio es de 15.437 que es inferior a lo requerido, en cambio los de 3%, 6% y 9% superan el por la norma establecida son de 99.189, 98.601 y 98.953, la cual cumple con la norma.

Figura 28

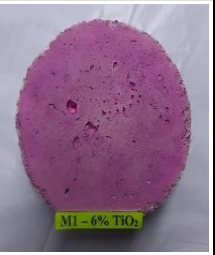
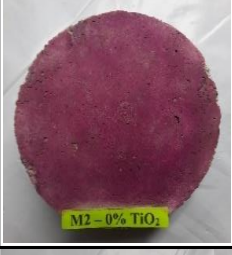
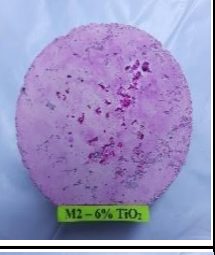
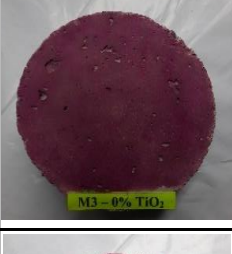
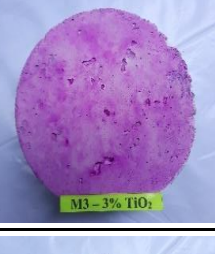
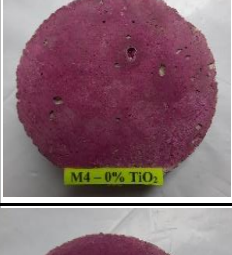
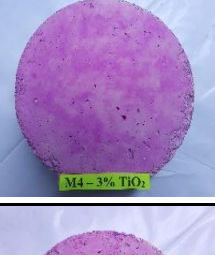
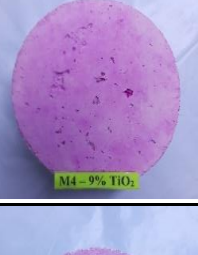
Comparación de la mitigación del indicador Rodamina B y tiempo de exposición en 4 y 26 horas



Nota: Comparación de la degradación de rodamina b y tiempo de exposición en 4 y 26 horas

En la figura N°28 se muestra la comparación del porcentaje de degradación del indicador rodamina frente al tiempo de exposición a rayos UV (0 h, 4 h y 26 h) para distintas concentraciones de dióxido de titanio (0 %, 3 %, 6 % y 9 %) se observa claramente que a mayor porcentaje de TiO_2 incorporado en la mezcla, mayor es la capacidad de degradación del contaminante, destacando superiores al 3% que alcanza valores de degradación por encima de los 99.189 tras las 26 horas de exposición, en contraste la muestra sin TiO_2 logra un 14.14 de degradación, la cual refleja una baja actividad fotocatalítica.

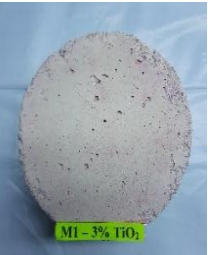
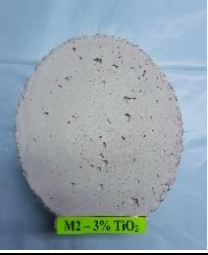
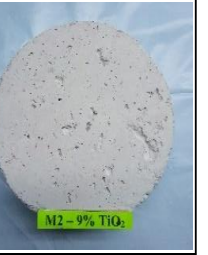
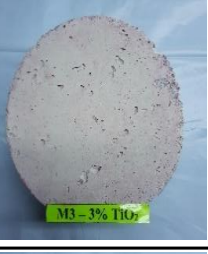
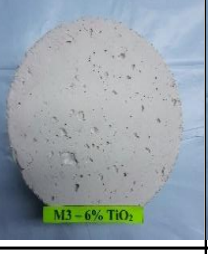
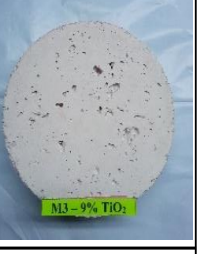
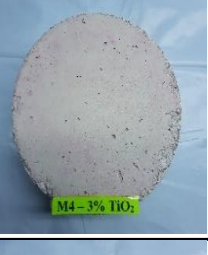
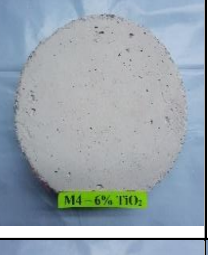
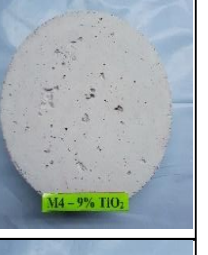
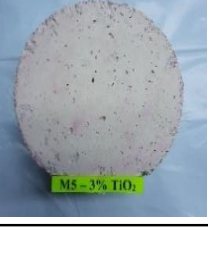
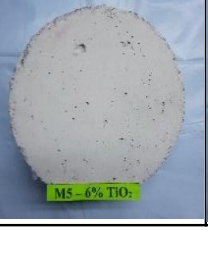
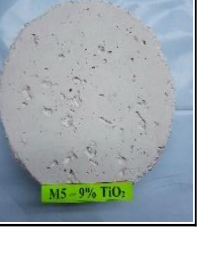
Tabla 11*Comparación de cuadro de imágenes a las 0 horas*

RECOLECCION DE DATOS A LAS 0 HORAS (8:10 am del 22/03/2025)	N° MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1				
	MUESTRA 2				
	MUESTRA 3				
	MUESTRA 4				
	MUESTRA 5				

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 0 horas

Fuente: Elaboración propia

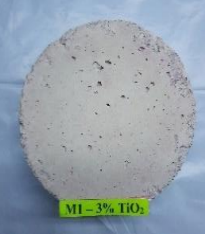
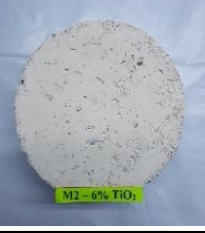
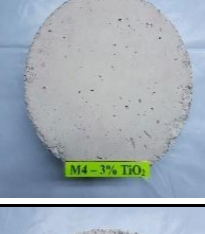
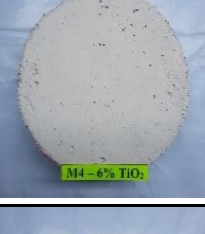
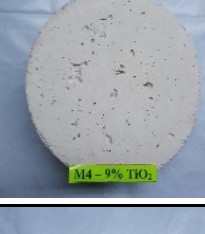
Tabla 12*Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas*

RECOLECCION DE DATOS A LAS 4 HORAS (12:10 pm del 22/03/2025)	N° MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1				
	MUESTRA 2				
	MUESTRA 3				
	MUESTRA 4				
	MUESTRA 5				

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13*Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas*

RECOLECCION DE DATOS A LAS 26 HORAS (10:10 am del 23/03/2025)	N° MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1				
	MUESTRA 2				
	MUESTRA 3				
	MUESTRA 4				
	MUESTRA 5				

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°12 y 13 del cuadro imágenes se aprecia los cambios visuales progresivos en las muestras sometidas a exposición de rayos UV, durante distintos intervalos de tiempo (0, 4 y 26 horas) en función al porcentaje de dióxido de titanio ya que a medida que transcurre el tiempo se evidencia una notable pérdida de color en las muestras mayores con mayores concentraciones del dióxido de titanio especialmente en el 3%, 6 % y 9% lo que indica mayor capacidad fotocatalítica para decolorar el indicador presente, en cambio la muestra del 0% mantiene su coloración después de las 26 horas lo cual refleja baja eficiencia en la degradación de contaminantes en ausencia del fotocatalizador.

5.1.3. Resultado para la mitigación del indicador Rodamina B con espectrómetro más esfera de integración en el concreto con adición de dióxido de titano en 0%, 3%, 6% y 9%.

Tabla 14

Resultados de la mitigación del indicador del indicador Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

MUESTRA	LAB (0 HORAS)			LAB (4 HORAS)			R4 %	R4 % PROMEDIO
	L	a*	b*	L	a*	b*		
MUESTRA AL 0%								
M1 - 0%	53.16	24.38	-7.20	49.53	22.32	-1.68	8.45	3.04
M2 - 0%	54.63	25.51	-7.67	49.53	25.45	-1.68	0.24	
M3 - 0%	49.35	14.29	-0.74	45.28	13.78	-0.91	3.57	
M4 - 0%	51.78	21.03	-5.44	42.35	21	0.41	0.14	
M5 - 0%	47.76	15.76	-2.56	43.75	15.32	-1.17	2.79	
MUESTRA AL 3%								
M1 - 6%	56.70	16.68	-7.32	88.18	13.94	-0.58	16.43	45.91
M2 - 6%	66.60	22.46	-10.13	88.53	9.47	0.83	57.84	
M3 - 6%	61.48	19.01	-7.75	76.73	11.73	-0.71	38.30	
M4 - 6%	57.44	20.42	-9.25	86.32	9.37	1.34	54.11	
M5 - 6%	58.87	20.14	-8.91	91.17	7.48	1.76	62.86	
MUESTRA AL 6%								
M1 - 3%	73.36	28.85	-13.87	87.37	14.3	3.36	50.43	53.25
M2 - 3%	61.92	22.97	-10.78	83.56	8.99	-1.68	60.86	

M3 - 3%	62.18	23.01	-10.80	86.19	11.67	-1.71	49.28	
M4 - 3%	66.84	24.43	-11.21	92.99	9.89	-1.14	59.52	
M5 - 3%	67.08	22.53	-10.79	81.39	12.13	-2.09	46.16	
MUESTRA AL 9%								
M1 - 9%	69.49	27.53	-13.67	105.76	11.03	-1.57	59.93	
M2 - 9%	63.66	25.8	-11.94	97.24	16.09	-2.6	37.64	
M3 - 9%	64.06	26.02	-12.09	91.97	11.98	-1.85	53.96	44.78
M4 - 9%	65.5	20.22	-9.01	91.33	9.71	-1.14	51.98	
M5 - 9%	62.05	16.74	-7.43	103.7	13.33	-1.49	20.37	

Nota: Resultados de la degradación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de la tabla N°14 obtenidos y tomando como referencia la norma UNI 11259, la cual establece que el valor de R4 promedio debe ser mayor a 20% la cual se observa que las muestras del 0% de concentración de dióxido de titanio presenta 3.04% por debajo del umbral normativo no cumple lo que indica una variación mínima de color en el tiempo, por otro lado al incorporar las concentraciones de dióxido de titanio en 3%, 6% y 9% los valores promedio R4 fue de 45.91% , 53.25% y 44.78%.

Tabla 15

Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

MUESTR A	LAB (0 HORAS) (9:22 am del 24/03/2025)			LAB (26 HORAS) (11:22 am del 25/03/2025)			R26 %	R26 % PROMED IO
	L	a*	b*	L	a*	b*		
MUESTRA AL 0%								
M1 - 0%	53.16	24.38	-7.20	68.28	22.93	-4.91	5.95	7.82
M2 - 0%	54.63	25.51	-7.67	73.81	15.3	-0.54	40.02	
M3 - 0%	49.35	14.29	-0.74	68.77	18.11	-2.73	-26.73	
M4 - 0%	51.78	21.03	-5.44	70.01	16.16	-2.18	23.16	
M5 - 0%	47.76	15.76	-2.56	68.79	16.28	-2.02	-3.30	

MUESTRA AL 3%							
M1 - 3%	56.70	16.68	-7.32	88.26	10.73	-1.08	35.67
M2 - 3%	66.60	22.46	-10.13	88.43	11.1	-0.86	50.58
M3 - 3%	61.48	19.01	-7.75	86.52	11.19	-1.99	41.14
M4 - 3%	57.44	20.42	-9.25	90.5	9.7	-0.49	52.50
M5 - 3%	58.87	20.14	-8.91	87.54	8.79	0.15	56.36
MUESTRA AL 6%							
M1 - 6%	73.36	28.85	-13.87	84.82	14.5	-2.28	49.74
M2 - 6%	61.92	22.97	-10.78	70.23	10.32	0.12	55.07
M3 - 6%	62.18	23.01	-10.80	65.4	6.25	1.97	72.84
M4 - 6%	66.84	24.43	-11.21	77	8.63	1.02	64.67
M5 - 6%	67.08	22.53	-10.79	84.79	12.78	-0.95	43.28
MUESTRA AL 9%							
M1 - 9%	69.49	27.53	-13.67	89.46	4.37	1.33	84.13
M2 - 9%	63.66	25.8	-11.94	91.35	8.37	0.36	67.56
M3 - 9%	64.06	26.02	-12.09	88.35	11.27	-0.44	56.69
M4 - 9%	65.5	20.22	-9.01	88.9	10.74	-0.06	46.88
M5 - 9%	62.05	16.74	-7.43	91.34	10.95	-0.63	34.59

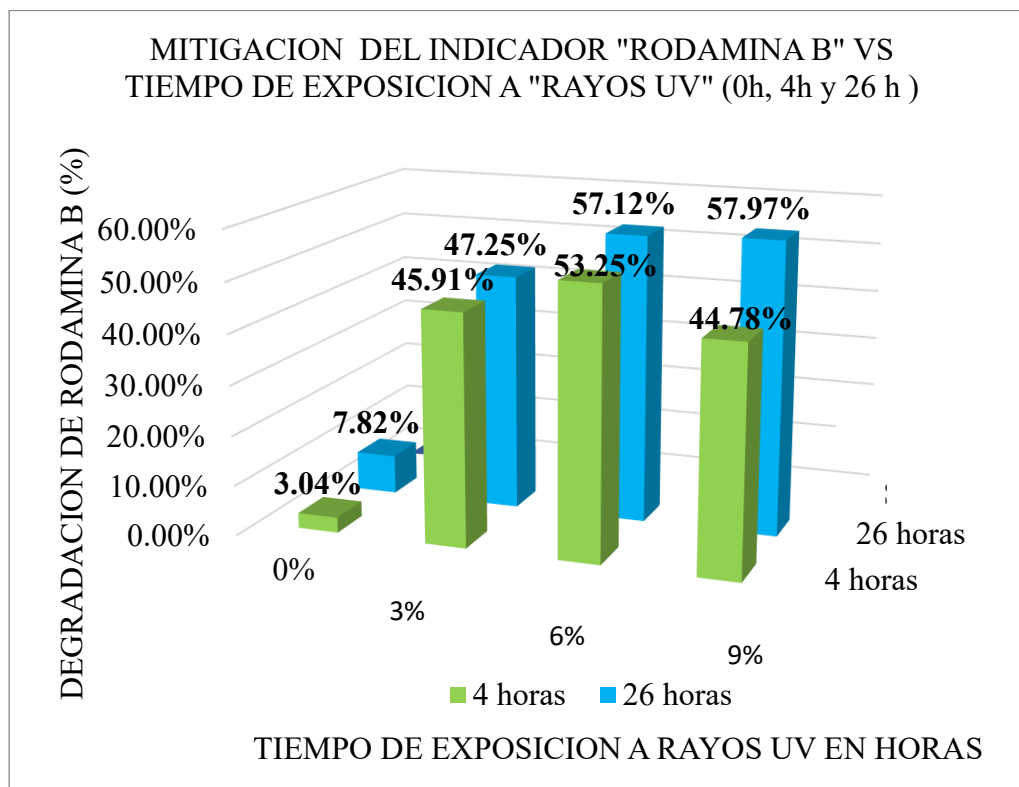
Nota: Resultados de la degradación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos de la tabla N°15 indica que la norma UNI 11259 establece que R26 debe ser mayor a 50% para que el cambio sea perceptible y relevante, en la muestra con 0% de concentración del dióxido de titanio un R26 indica un promedio de 7.82% la cual es por debajo del umbral normativo, lo que indica una variación mínima en color en tiempo, por lo tanto no cumple, por lo cual al incorporar concentraciones de dióxido de titanio en 3%, 6% y 9% los valores promedio de R26 47.25%, 57.12%, y 57.97%, la cual supero y cumple con la norma.

Figura 29

Comparación de cada concentración y tiempo de exposición a rayos UV de 4 y 26 horas con espectrómetro más esferas de integración



Nota: Comparación de cada concentración y tiempo de exposición a rayos UV

Fuente: Elaboración propia

La figura 29 muestra la relación entre el porcentaje de degradación del indicador rodamina b y el tiempo de exposición rayos UV a las 0, 4 y 26 horas para diferentes concentraciones del 0%, 3%, 6% y 9% la cual indica que al 0% la degradación es baja alcanzando a las 4 horas 3.04% y a las 26 horas solo eso 7.82% lo que indica buena estabilidad inicial; sin embargo, en los diferentes porcentajes de 3%, 6% y 9% aumenta la degradación significativamente la de 3% sube a 45.91% en 4 horas y 47.25% a las 26 horas y en el caso de 6% los valores también son elevados con un 53.25% en horas y 57.12% en 26 horas y finalmente el de 9%, 44.78% en 4 horas y 57.97% en 26 horas la cual cumple con la normativa.

5.1.4. Resultado para la mitigación de óxidos de nitrógeno en el concreto con adición de dióxido de titanio en 0%, 3%, 6% y 9%.

Tabla 16

Resultados de la mitigación del contaminante óxidos de nitrógeno en 4 horas

INTENSITY (WEIGHTED)					
MUESTRA	0 HORAS	4 HORAS	Diferencia	% Variación	% Variación promedio
	(14:05 pm del 28/03/2025)	(18:05 pm del 28/03/2025)			
MUESTRA AL 0%					
M1 - 0%	25.2	45.41	20.21	80.198413	4.7130961
M2 - 0%	63.65	49.369	-14.281	-22.43676	
M3 - 0%	65.61	50.336	-15.274	-23.27999	
M4 - 0%	64.78	60.984	-3.796	-5.859833	
M5 - 0%	66.906	63.523	-3.383	-5.056348	
MUESTRA AL 3%					
M1 - 3%	69.502	81.9	12.398	17.838336	9.8053202
M2 - 3%	75.961	77.66	1.699	2.2366741	
M3 - 3%	62.976	84.65	21.674	34.416286	
M4 - 3%	60.397	58.807	-1.59	-2.632581	
M5 - 3%	68.147	66.217	-1.93	-2.832113	
MUESTRA AL 6%					
M1 - 6%	31.488	52.984	21.496	68.267276	35.768238
M2 - 6%	33.768	54.701	20.933	61.990642	
M3 - 6%	76.344	85.401	9.057	11.863408	
M4 - 6%	65.777	87.798	22.021	33.478267	
M5 - 6%	63.333	65.386	2.053	3.241596	
MUESTRA AL 9%					
M1 - 9%	55.158	74.114	18.956	34.366728	42.015819
M2 - 9%	66.305	91.605	25.3	38.157002	
M3 - 9%	61.381	85.124	23.743	38.681351	
M4 - 9%	64.652	86.116	21.464	33.199282	
M5 - 9%	26.581	44.038	17.457	65.67473	

Nota: Resultados de la degradación de los contaminantes de óxidos de nitrógeno en 4 horas

Fuente: Elaboración propia

Según a la tabla N°16 del resultado obtenidos tras 4 horas de exposición, las muestras del 0% de R4 promedio se tiene el 4.721% la cual está por debajo del umbral que es mayor a 20% que estableció la norma UNI 11259 indicando que no cumple; sin embargo, la 3% su R4 promedio es 9.80%, que también es inferior la cual tampoco cumple y finalmente las concentraciones de 6, % y 9%, con R4 de 35.78%y 42.01%, esta supera con creces y cumple con la norma.

Tabla 17

Resultados de la mitigación del contaminante óxidos de nitrógeno en 26 horas

INTENSITY (WEIGHTED)					
MUESTRA	0 HORAS (14:05 pm del 28/03/2025)	26 horas (16:05 pm del 29/03/2025)	Diferencia	% Variacion	% Variacion promedio
MUESTRA AL 0%					
M1 - 0%	25.20	53.69	28.50	113.11	4.8140792
M2 - 0%	63.65	49.139	-14.51	-22.80	
M3 - 0%	65.61	54.846	-10.77	-16.41	
M4 - 0%	64.78	49.846	-14.94	-23.06	
M5 - 0%	66.906	48.994	-17.91	-26.77	
MUESTRA AL 3%					
M1 - 3%	69.502	81.95	12.448	17.910276	13.852089
M2 - 3%	75.961	78.66	2.699	3.5531391	
M3 - 3%	62.976	86.684	23.708	37.646087	
M4 - 3%	60.397	63.807	3.41	5.6459758	
M5 - 3%	68.147	71.217	3.07	4.5049672	
MUESTRA AL 6%					
M1 - 6%	31.488	58.986	27.498	87.328506	52.107327
M2 - 6%	33.768	61.803	28.035	83.022388	
M3 - 6%	76.344	89.601	13.257	17.364822	
M4 - 6%	65.777	96.898	31.121	47.312891	
M5 - 6%	63.333	79.488	16.155	25.508029	
MUESTRA AL 9%					
M1 - 9%	55.158	98.213	43.055	78.05758	62.543279
M2 - 9%	66.305	96.138	29.833	44.99359	

M3 - 9%	61.381	87.806	26.425	43.050781
M4 - 9%	64.652	97.219	32.567	50.372765
M5 - 9%	26.581	52.163	25.582	96.241676

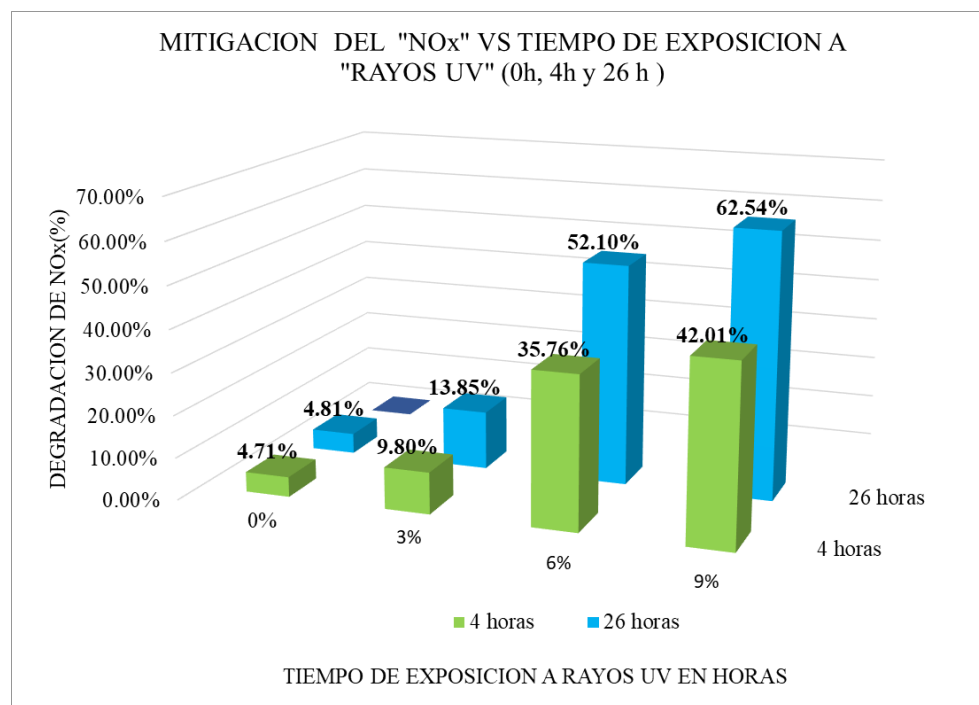
Nota: Resultados de la degradación de los contaminantes de óxidos de nitrógeno en 26 horas

Fuente: Elaboración propia

Según a la tabla N°17 el resultado obtenido tras 26 horas de exposición, las muestras del 0% de R26 promedio se tiene el 4.81 la cual está por debajo del umbral que es mayor a 50% que estableció la norma UNI 11259 indicando que no cumple; sin embargo, la 3% su R26 promedio es 13.85% que también es inferior la cual tampoco cumple y finalmente las concentraciones de 6% y 9% con R26 de 52.10% y 62.54%, supera y cumple con la norma establecida.

Figura 30

Comparación de cada concentración y el tiempo de exposición a rayos UV en 4 y 26 horas



Nota: Comparación de cada concentración y el tiempo de exposición a rayos UV en 4 y 26 horas

Fuente: Elaboración propia

La figura N°30 expone la relación entre el tiempo de exposición a la radiación de Uv y al porcentaje de reducción de óxidos de nitrógeno, además se observa que, al inicio de las 0 horas la mitigación es nula, a comparación con las 4 horas de exposición los porcentajes alcanzaron aproximadamente a 4.71%, 9.80%, 35.76% y 42.01%, según la dosificación empleada, a las 26 horas los valores se incrementaron notablemente registrándose en 4.81%, 13.85%, 52.10% y 62.54% evidenciado una relación directa entre el tiempo de irradiación y la eficiencia del material fotocatalítico.

Tabla 18

Comparación del cuadro de imágenes a las 0 horas

RECOLECCION DE DATOS A LAS 0 HORAS (14:05 pm de 28/03/2025)	N° MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1				
	MUESTRA 2				
	MUESTRA 3				
	MUESTRA 4				
	MUESTRA 5				

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 0 horas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19*Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas*

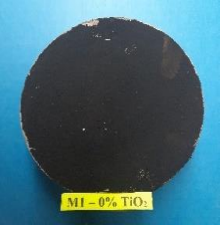
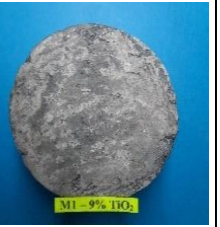
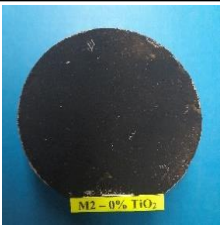
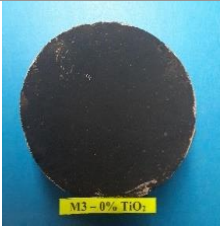
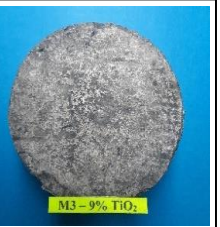
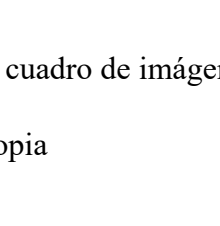
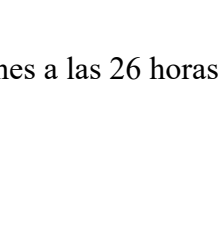
RECOLECCION DE DATOS A LAS 4 HORAS (18:05 pm del 28/03/2025)	N° MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1	 M1 - 0% TiO ₂	 M1 - 3% TiO ₂	 M1 - 6% TiO ₂	 M1 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 2	 M2 - 0% TiO ₂	 M2 - 3% TiO ₂	 M2 - 6% TiO ₂	 M2 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 3	 M3 - 0% TiO ₂	 M3 - 3% TiO ₂	 M3 - 6% TiO ₂	 M3 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 4	 M4 - 0% TiO ₂	 M4 - 3% TiO ₂	 M4 - 6% TiO ₂	 M4 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 5	 M5 - 0% TiO ₂	 M5 - 3% TiO ₂	 M5 - 6% TiO ₂	 M5 - 9% TiO ₂

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas

RECOLECCION DE DATOS A LAS 26 HORAS (16:05 pm del 29/03/2025)	Nº MUESTRA	PORCENTAJE DE ADICION DE DIOXIDO DE TITANIO (TiO ₂)			
		0%	3%	6%	9%
	MUESTRA 1				
		M1 - 0% TiO ₂	M1 - 3% TiO ₂	M1 - 6% TiO ₂	M1 - 9% TiO ₂
					
		M2 - 0% TiO ₂	M2 - 3% TiO ₂	M2 - 6% TiO ₂	M2 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 2				
		M3 - 0% TiO ₂	M3 - 3% TiO ₂	M3 - 6% TiO ₂	M3 - 9% TiO ₂
					
		M4 - 0% TiO ₂	M4 - 3% TiO ₂	M4 - 6% TiO ₂	M4 - 9% TiO ₂
	MUESTRA 3				
		M5 - 0% TiO ₂	M5 - 3% TiO ₂	M5 - 6% TiO ₂	M5 - 9% TiO ₂
					
		M6 - 0% TiO ₂	M6 - 3% TiO ₂	M6 - 6% TiO ₂	M6 - 9% TiO ₂

Nota: Comparación del cuadro de imágenes a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En los cuadros de imágenes se aprecia los cambios visuales progresivos en las muestras sometidas a exposición de rayos UV durante distintos intervalos de tiempo de 0, 4 y 26 horas en función al porcentaje de dióxido de titanio ya que a medida que transcurre el tiempo se evidencia una notable pérdida de color en las muestras mayores con mayores concentraciones del dióxido de titanio especialmente en el 6 % y 9% lo que indica mayor capacidad fotocatalítica para decolorar, después de las 26 horas lo cual refleja una eficiencia en la degradación de contaminantes en ausencia del fotocatalizador.

5.2. Análisis estadístico

5.2.1. Resumen de resultados de la mitigación del indicador de rodamina B a las 4 horas

Tabla 21

Resultado de la mitigación del indicador de Rodamina B a las 4 horas

CANTIDAD	MUESTRA A LAS 4 HORAS			
	0%	3%	6%	9%
1	65.93	100	97.36	98.28
2	40.52	97.32	96.51	98.82
3	-16.51	97.53	98.18	99.81
4	-0.46	97.79	99.78	99.76
5	-18.8	98.02	98.37	98.58

Nota: Resumen de los resultados de la mitigación del indicador de rodamina B a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.1. Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de rodamina B a las 4 horas

Tabla 22

Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 4 horas

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS A LAS 4 HORAS					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
0%	5	-18.80	65.93	14.1360	37.46910
3%	5	97.32	100.00	98.1320	1.07711
6%	5	96.51	99.78	98.0400	1.22059
9%	5	98.28	99.81	99.0500	0.69793
N válido (por lista)	5				

Nota: Análisis descriptivo estadístico a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°22 da a conocer la medición realizada a las 4 horas con el indicador de rodamina B, con el 0% del fotocatalizador del dióxido de titanio presento valores comprendidos de -18.80 y 65.93 con una media de 14.14 y una desviación estándar de 37.47 lo que indica una variabilidad en los resultados; al 3% se registró entre 97.32 y 100, con una media de 98.13 y una desviación estándar de 1.07; con el 6 % presento los valores entre 96.51 y 99.78 con una media de 98.04 y una desviación estándar 1.22 por lo cual los resultados son más homogéneos, manteniendo una baja dispersión y finalmente el 9% presento valores entre 98.28 y 99.81 con una media de 99.05 y la desviación estándar de 0.69 reflejando una uniformidad en las mediciones.

5.2.1.2. Prueba de normalidad para la mitigación del indicador rodamina b en las 4 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 23

Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk, para la mitigación del indicador Rodamina B a las 4 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.875	0.285
3%	5	0.777	0.052
6%	5	0.980	0.937
9%	5	0.870	0.265

Nota: Prueba de normalidad de Shapiro Wilk a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°23 se aplicó el Shapiro-Wilk para las muestras de 0%, 3%, 6% y 9% a las 4 horas los valores de p son 0.285, 0.052, 0.937 y 0.265 por esta razón todas cumple con la distribución normal por eso son paramétricos.

5.2.1.3. Análisis inferencial para la mitigación del indicador de rodamina b en las 4 horas.

Tabla 24

Análisis inferencial para la mitigación del indicador de Rodamina B en las 4 horas

ANOVA						
Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	f	Sig.	Interpretación
Entre grupos	3	26634.335	8878.112	25.239	0.0000026	Existe diferencia significancia entre grupos
Dentro de grupos	16	5628.283	351.768			
Total	19	32262.618				

Nota: Análisis inferencia con la prueba de ANOVA para las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°24 que el valor p de 0.0000026 que es mucho menor al 0.05; por lo cual, son estadísticamente significativos entre los grupos evaluados lo que indica que la variación en la mitigación a las 4 horas responde al efecto del tratamiento aplicado.

5.2.2. Resumen de resultados de la mitigación del indicador de rodamina b a las 26 horas

Tabla 25

Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas

MUESTRA A LAS 26 HORAS				
CANTIDAD	0%	3%	6%	9%
1	73.61	100	98.55	99.77
2	-25.01	98.74	98.1	98.81
3	-20.83	98.5	98.2	98.53
4	31.86	99.78	99.78	98.7
5	17.55	98.92	98.37	98.58

Nota: Resumen de los resultados de la mitigación del indicador de rodamina b a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1. Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de rodamina b en las 26 horas

Tabla 26

Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas

ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS 26 HORAS					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
0%	5	-25.01	73.61	11.86	41.03
3%	5	98.5	100	99.39	0.7
6%	5	98.1	99.78	99	0.79
9%	5	98.53	99.77	98.88	0.51
N válido (por lista)		5			

Nota: Análisis descriptivo a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°26 se presenta los datos estadísticos descriptivos de la mitigación del indicador de la rodamina b a las 26 horas, se observa que en la muestra del 0% la media fue de 11.86 con valores que oscilaron entre -25.01 y 73.61 una desviación estándar de 41.03 lo cual refleja una viabilidad y ausencia de estabilidad en la mitigación, en las muestras de 3%, 6% y 9% presentaron unas medias de 99.39, 99 y 98.88 respectivamente y sus desviaciones estándares son bajas 0.7, 0.79 y 0.51 lo que indica que los niveles de dióxido de titanio, la mitigación es consistente, estable y efectiva ya que alcanzaron valores máximos cercanos al 100%.

5.2.2.2. Prueba de normalidad para la mitigación del indicador rodamina b en las 26 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 27

Prueba de normalidad para la mitigación del indicador Rodamina B a las 26 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.86	0.233
3%	5	0.99	0.812
6%	5	0.958	0.805
9%	5	0.986	0.967

Nota: Prueba de normalidad de Shapiro Wilk a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°27 de la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk mostro que las muestras con 0%, 6% y 9% de dióxido de titanio presentan una distribución normal de $p > 0.005$; por lo cual, se requiere considerar una prueba es paramétrica.

5.2.2.3. Análisis inferencial para la mitigación del indicador de rodamina b a las 26 horas

Tabla 28

Análisis inferencial para la mitigación del indicador de Rodamina B a las 26 horas

Fuente de variación	Gl	ANOVA				Interpretación
		Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.	
Entre grupos	3	11874.8	3958.27	8.47	0.002	Existe diferencia significancia entre grupos
Dentro de grupos	12	5615.5	467.95			
Total	15	17490.3				

Nota: Análisis inferencia con la prueba de ANOVA a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°28 de la prueba de ANOVA indico diferencias estadísticamente significativas entre la media cuádrlica de 3958.27 y 467.95, Gl es de 8.47 y valor de p es de 0.002 lo que evidencia que la concentración del dióxido de titanio influye en la mitigación del contaminante entre condiciones.

Tabla 29

Análisis inferencia estadístico del indicador de Rodamina B a las 26 horas

Tukey				
MUESTRA	N	Subconjunto para-alfa = 0.05		Interpretacion
		1	2	
0%	5	11.86		
9%	5		98.88	Existe homogenidad estadisticamente
6%	5		99	
3%	5		99.39	
sig		0.003	0.987	

Nota: Análisis inferencia con la prueba de Tukey a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°29 con la prueba de Tukey muestra dos sub conjuntos en el primero del 0% de 11.86, la cual presento diferencias significativas con el resto del grupo, del según sub conjunto estuvo conformado por las muestras 3% de 99.39; 6% de 99 y 9% , 98.88, donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellas donde valor de p fue de 0.987; estos resultados evidencian que la variación se debe principalmente a la condición del 0% mientras que las demás concentraciones presentan un comportamiento homogéneo.

5.2.3. Resumen de resultados de la mitigación con el indicador de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

Tabla 30

Resultados de la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más esfera de integración a las 4 horas

CANTIDAD	MUESTRA A LAS 4 HORAS			
	0%	3%	6%	9%
1	8.45	16.43	50.43	59.93
2	0.24	57.84	60.86	37.64
3	3.57	38.3	49.28	53.96
4	0.14	54.11	59.52	51.98
5	2.79	62.86	46.16	20.37

Nota: Resumen de los resultados del indicador de rodamina b con espectrómetro más esfera de integración a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.1. Análisis descriptivo para la mitigación con el indicador de rodamina b con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

Tabla 31

Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
0%	5	0.14	8.45	3.0380	3.38606
3%	5	16.43	62.86	45.9080	18.86697
6%	5	46.16	60.86	53.2500	6.54229
9%	5	20.37	59.93	44.7760	15.90961
N válido (por lista)	5				

Nota: Análisis descriptivo a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°31 se presenta los datos estadísticos descriptivos de la mitigación del indicador de la rodamina b a las 26 horas, se observa que en la muestra del 0% la media fue de 3.0380 con valores de 0.14 y 8.45 y una desviación estándar de 3.386 lo cual refleja una viabilidad y ausencia de estabilidad en la mitigación, en las muestras de 3%, 6% y 9% presentaron unas medias de 45.90, 53.25 y 44.77 respectivamente y sus desviaciones estándares de 18.86, 6.54 y 15.90 lo que indica que los niveles de dióxido de titanio, la mitigación es consistente, estable y efectiva.

5.2.3.2. Prueba de normalidad para la mitigación con el indicador de rodamina b con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 32

Prueba de normalidad para la mitigación del indicador de Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.873	0.278
3%	5	0.889	0.351
6%	5	0.875	0.289
9%	5	0.903	0.425

Nota: Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°32 la prueba de Shapiro – Wilk aplicada a las diferentes muestras del 0%, 3%, 6% y 9% mostro valores significativos de 0.278, 0.351, 0.289 y 0.425 respectivamente, todos ellos superiores al nivel crítico de 0.05; esto significa que, en ninguno existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula de normalidad, lo que indica que los datos se distribuyen de manera adecuada a la curva normal, es decir son coherentes y estables por ello es paramétrico.

5.2.3.3. Análisis inferencial para la mitigación con el indicador de rodamina b con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

Tabla 33

Análisis inferencial para la mitigación del indicador Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

ANOVA						
Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Entre grupos	3	7785.172	2595.057	15.648	0.000051	Existe diferencia significancia entre grupos
Dentro de grupos	16	2653.380	165.836			
Total	19	10438.552				

Nota: Análisis inferencial con la prueba de ANOVA a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°33 los resultados de ANOVA muestran diferencias significativas entre los grupos analizados donde F es de 15.648 y valor de p es de 0.000051, lo que indica que al menos una de las medias es distinta las demás.

Tabla 34

Análisis inferencial estadístico para la mitigación del indicador Rodamina B con el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas

		Tukey		
MUESTRA	N	Sub conjunto para- alfa = 0.05		Interpretacion
		1	2	
0%	5	3.03800		Existe homogenidad estadisticamente
3%	5		44.77600	
6%	5		45.90800	
9%	5		53.25000	
Sig.		1.000	0.729	

Nota: Análisis inferencia con la prueba de Tukey a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°34 se observa que el grupo de 0% con una media de 3.038 se diferencia claramente de los grupos de 3%, 6% y 9% ya que forma un sub conjunto, por lo cual que entre ellos no existe diferencias estadísticamente significativas; por ello, el nivel de 0% se comporta de manera distinta y significativamente menor respecto a los demás tratamientos, mientras que los valores de 3%, 6% y 9% presentan valores similares entre sí.

5.2.4. Resumen de resultados de la mitigación con el indicador de rodamina b con el espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Tabla 35

Resultados de la mitigación con el indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

MUESTRA A LAS 26 HORAS					
CANTIDAD	0%	3%	6%	9%	
1	5.95	35.67	49.74	84.13	
2	40.02	50.58	55.07	67.56	
3	-26.73	41.14	72.84	56.69	
4	23.16	52.5	64.67	46.88	
5	-3.3	56.36	43.28	34.59	

Nota: Resumen de los resultados de la mitigación del indicador de Rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas.

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.1. Análisis descriptivo para la mitigación con el indicador de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Tabla 36

Análisis descriptivo para la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
0%	5	-26.730	40.020	7.82000	25.460800
3%	5	35.67	56.36	47.2500	8.55967
6%	5	43.28	72.84	57.1200	11.77214
9%	5	34.59	84.13	57.9700	19.02344
N válido (por lista)	5				

Nota: Análisis descriptivo a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°36 al analizar los descriptivos a las 26 horas, se observa que la muestra del 0% presenta con valores que van desde -26.73 hasta 40.02 y una media bastante baja de 7.82 ; por lo cual refleja una dispersión considerable con una desviación estándar de 25.460; además, las muestras tratadas muestran comportamientos más consistentes y con medias superiores al 3% que alcanza un promedio de 47.25, al 6% de 57.12 y al 9% de 57.97, que conforme aumenta la concentración, también hace el valor medio obtenido, existe una cierta variabilidad en los niveles altos como al 9% con una desviación estándar de 19.02 la cual evidencia un efecto positivo.

5.2.4.2. Prueba de normalidad para la mitigación con el indicador de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 37

Prueba de normalidad para la mitigación del indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.993	0.990
3%	5	0.9928	0.584
6%	5	0.975	0.907
9%	5	0.993	0.990

Nota: Prueba de normalidad con Shapiro Wilk a las 26 horas

En la tabla N°37 se observa que los resultados de todas las muestras presentan valores significativos mayores al 0.05 como del 0% de 0.990, 3% de 0.584, 6% de 0.907 y 9% de 0.990, esto indica que en ninguno de los casos se rechaza la hipótesis nula, por lo que los datos de todas las muestras se ajustan adecuadamente a una distribución normal, lo que indica una validez de los análisis estadísticos posteriores.

5.2.4.3. Análisis inferencial para la mitigación con el indicador de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Tabla 38

Análisis inferencial para la mitigación con el indicador de Rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

ANOVA						
Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.	Interpretación
Entre grupos	3	8391.619	2797.206	9.156	0.000922	Existe diferencia significancia entre grupos
Dentro de grupos	16	4887.979	305.499			
Total	19	13279.598				

Nota: Análisis inferencia con la prueba de ANOVA a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°38 en la prueba de ANOVA de un factor mostro diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las muestras donde F es de 9.156 y el valor de p es de 0.000922; lo que indica que al menos una de las muestras evaluadas difiere de manera relevante respecto a los demás.

Tabla 39

Análisis inferencial estadístico para la mitigación con el indicador de rodamina B con espectrómetro más la esfera de integración a las 26 horas

Tukey				
MUESTRA	N	Sub conjunto para-alfa = 0.05		Interpretacion
		1	2	
0%	5	7.82000		Existe homogenidad estadisticamente
3%	5		47.25000	
6%	5		57.12000	
9%	5		57.97000	
Sig.		1.000	0.768	

Nota: Análisis inferencial con la prueba de Tukey a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°39 donde Tukey permitió identificar que grupos presentan similitudes o diferencias; por lo cual, se observó que el grupo del 0% la media de 7.82, se ubicó en el subconjunto separado, mostrando una clara diferencia frente a las concentraciones de dióxido de titanio; las muestras de 3% de 47.25, 6% de 57.12 y 9% de 57.970 se agrupan en el mismo subconjunto homogéneo, lo que indica que entre ellas no existen diferencias significativas, aunque muestran valores promedio más altos que el control; por ello, se deduce que el dióxido de titanio influye significativamente en los valores obtenidos.

5.2.5. Resumen de resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Tabla 40

Resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

MUESTRA A LAS 4 HORAS				
CANTIDAD	0%	3%	6%	9%
1	80.198	17.838	68.267	34.366
2	-22.436	2.236	61.990	38.157
3	-23.279	34.416	11.863	38.681
4	-5.859	-2.632	33.478	33.199
5	-5.056	-2.832	3.241	65.674

Nota: Resumen de resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.1. Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Tabla 41

Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

ESTADISTICOS DESCRIPTIVO					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.
0%	5	-23.28	80.2	4.32	45.52
3%	5	-2.83	34.42	9.41	15.47
6%	5	17.36	87.33	52.91	29.22
9%	5	43.05	96.24	62.94	20.88
N valido (por lista)	5				

Nota: Análisis descriptivo a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°41 se observa que la muestra al 0% presenta una media muy baja de 4.32 acompañada de una gran dispersión en los datos y su desviación estándar es de 45.52 lo que refleja una inestabilidad y valores extremos que van desde el -23.28 hasta los 80.25; en el 3% su media aumenta ligeramente del 9.41 donde la variabilidad se reduce de forma considerable con una desviación estándar de 15.47 mostrando un comportamiento más estable, al 6 % se

muestra un cambio notable con una media de 52.91 y un rango de valores de 17.36 hasta 87.33 que indica un efecto claro y finalmente al 9 % se alcanza la media más alta de 62.94 con valores que llegan hasta 43.05 a 96.24 y se incrementa una variabilidad de una desviación estándar de 20.88.

5.2.5.2. Prueba de normalidad para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 42

Prueba de normalidad para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.725	0.02
3%	5	0.947	0.678
6%	5	0.976	0.897
9%	5	0.929	0.542

Nota: Prueba de normalidad con Shapiro Wilk a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N °42 se observa un nivel de significancia de 0.005 que se encontró en la muestra de 0% con un valor de p de 0.02, no cumple con el supuesto de normalidad, ya que sus valores son menores a lo establecido, lo cual indica que los valores no tienen una distribución normal; sin embargo, las muestras del 3% con un valor de p de 0.678; al 6% de p de 0.897 y el 9% de un

valor de p 0.542, los valores son superiores a los 0.05 entonces permite aceptar la normalidad en dichos casos.

5.2.5.3. Análisis inferencial para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Tabla 43

Análisis inferencial para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Estadístico de la prueba de Friedman		Interpretación
N	5	Existe diferencia significativa entre los grupos evaluados
Gl	3	
Chi-cuadrado	9.2	
Sig.	0.027	

Nota: Análisis inferencial con la prueba de Friedman a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°43 revelo diferencias significativas entre grupos del X^2 es de 9.2, con un Gl de 3 y un valor de p de 0.027, lo que indica que al menos una de las concentraciones se comporta de manera distinta respecto a los demás.

Tabla 44

Análisis inferencial estadístico para la mitigación de óxidos de nitrógeno a las 4 horas

ESTADISTICOS DE PRUEBA DE WILCOXON			
Comparación	Z	Sig. (ajustada)	Interpretacion
0% vs 3%	-0.67	0.5	No sig.
0% vs 6%	-2.02	0.043	Signif.
0% vs 9%	-2.02	0.043	Signif.
3% vs 6%	-2.02	0.043	Signif.
3% vs 9%	-2.02	0.043	Signif.
6% vs 9%	-0.67	0.5	No sig.

Nota: Análisis inferencial con la prueba de Wilcoxon a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°34 la muestra que existen contraste significativos entre 0% y 6% con un valor de p de 0,043; por otro lado, las comparaciones de 0% vs 9% el valor de p es de 0.43, 6 vs 3% donde su valor de p de 0.043 y 3% vs 9% su valor de p es de 0.043 las cuales resultaron significativas; sin embargo, 0% vs 3% de un valor de p 0.5 y 6% vs 9% de un valor p 0.5 las cuales no son significativas, en conjunto estos resultados sugieren que las diferencia más claras se presentan entre el control y los tratamientos intermedios y altos, mientras que las comparaciones entre concentraciones similares no evidencian cambios estadísticamente relevantes.

5.2.6. Resumen de resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

Tabla 45

Resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

MUESTRA A LAS 26 HORAS				
CANTIDAD	0%	3%	6%	9%
1	113.109	17.910	87.328	78.057
2	-22.800	3.553	83.022	44.993
3	-16.411	37.646	17.364	43.050
4	-23.055	5.645	47.312	50.372
5	-26.771	4.504	25.508	96.241

Nota: Resumen de los resultados de la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 4 horas

Fuente: Elaboración propia

5.2.6.1. Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

Tabla 46

Análisis descriptivo para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

ESTADISTICOS DESCRIPTIVO					
MUESTRA	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.
0%	5	-26.77	113.11	4.61	61.62
3%	5	3.55	37.65	13.85	13.34
6%	5	3.24	68.27	35.77	26.54
9%	5	33.2	65.67	42.42	13.3
N valido (por lista)	5				

Nota: Análisis descriptico a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En La Tabla N°46 se observa que en la muestra del 0% presenta una media muy baja de 4.61 y una gran dispersión en los datos de la desviación estándar de 62.62, con valores incluso que llegan a hacer negativos del -26.77 hasta un máximo de 113.11, lo que refleja inestabilidad en el grupo de control; sin embargo, en el 3% la media aumenta a un 13.85 y la variabilidad se reduce considerablemente de la desviación estándar con un 13.34 mostrando un comportamiento más homogéneo; a partir del 6% se ha incrementado la media considerablemente con un 35.77 y un rango más amplio desde 3.24 a 68.27 acompañado de una desviación estándar de 26.54, finalmente en el 9% se alcanza un promedio más alto con un 42.42, con un rango que va de un 33.2 hasta 65.67, aunque también con una desviación estándar de 13.3, los resultados muestran una clara tendencia ascendente en las medias conforme aumenta la concentración del dióxido de titanio.

5.2.6.2. Prueba de normalidad para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

Hipótesis de la prueba

- Hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna: los datos no siguen una distribución normal
- Nivel de significancia de alfa: 0.05

Tabla 47

Prueba de normalidad para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
MUESTRA	Shapiro-Wilk		
	Gl	Estadístico	Sig.
0%	5	0.715	0.018
3%	5	0.952	0.707
6%	5	0.944	0.65
9%	5	0.931	0.57

Nota: Prueba de normalidad con Shapiro Wilk a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°47 al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk con un nivel de significancia de 0.05, se observa que las muestras del 0% tiene un valor de p de 0.018, que presentan valores menores de significancia menores a 0.05 por lo que rechaza la hipótesis nula y se concluye que en estos grupos los datos no siguen una distribución normal, el 3% tiene un valor de 0.707; 6% tiene un valor de p de 0.65 y del 9% con un valor de p de 0.57, que presentan un valor mayor a 0.05, lo que permite aceptar la hipótesis nula y confirmar que en este caso los datos si se ajustan a la normalidad.

5.2.6.3. análisis inferencial para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

Tabla 48

Análisis inferencial para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

Estadístico de la prueba de Friedman		Interpretacion
N	5	Existe diferencia significativa entre los grupos evaluados
Gl	3	
Chi-Cuadrado	8.6	
Sig.	0.035	

Nota: Análisis inferencial con la prueba de Friedman a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°48 de la prueba de Friedman arrojo un valor de X^2 de 8.6 con tres grados de libertad y un nivel de significancia de 0.035, lo que indica diferencias significativas entre los grupos evaluados.

Tabla 49

Análisis inferencial estadístico para la mitigación con óxidos de nitrógeno a las 26 horas

ESTADISTICOS DE PRUEBA DE WILCOXON			
Comparación	Z	Sig. (ajustada)	Resultado
0% vs 3%	-0.67	0.5	No sig.
0% vs 6%	-2.02	0.043	Signif.
0% vs 9%	-2.02	0.043	Signif.
3% vs 6%	-2.02	0.043	Signif.
3% vs 9%	-2.02	0.043	Signif.
6% vs 9%	-0.67	0.5	No sig.

Nota: Análisis inferencial con la prueba de Wilcoxon a las 26 horas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°49 se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, dando las comparaciones entre el 0% vs 6% con un valor de 0.043, 0% vs 9% un valor de p de 0.043, 3% vs 6% de valor

de p de 0.043 y entre el 3% y 9% donde p es de 0.043 dando resultados significativas; en cambio, las comparaciones de 3% y 0% su valor de p es de 0.500 y 9% vs 6% con una p de 0.500 las cuales no mostraron diferencias, en conjunto sugieren que los niveles de tratamiento intermedios y altos se distinguen significativamente del control y del 3%, mientras que las diferencias entre concentraciones más próximas del 3% vs 0% y 9% y 6% no son estadísticamente relevantes.

5.3. Prueba de hipótesis

En la investigación se plantea una hipótesis general, como también tres hipótesis específicas con el propósito de evaluar la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación del dióxido de titanio en la ciudad de Abancay – Apurímac, para verificar la validez de estas hipótesis se realizó basados en la prueba de ANOVA y Tukey; además complementando con otras pruebas.

- **Hipótesis general**

- H_0 : La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en concreto no mitiga significativamente los óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- H_1 : La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en concreto mitiga significativamente los óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

Los análisis realizados permiten afirmar que el uso del dióxido de titanio en el concreto contribuye de manera significativa a la reducción de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay, a las 4 horas las muestras de control de 0% apenas alcanzo una media de 4.32 y 45.52; mientras que en los concretos de 6% y 9% lograron entre 52.91 a 29.22 y 62.94 a 20.88 respectivamente; así se mantuvo a las 26 horas, donde las muestras mostraron un valor inestable

de 4.61 a 61.62, en contraste con las concentraciones de 6% con 35.77 a 26.54 y finalmente el 9% de 42.42 a 13.30; sin embargo, los resultados similares se obtuvieron con la rodamina B a las 4 horas del 0% su promedio fue de 14.14 a 37.47, frente al 9% con 99.05 a 0.69; y a las 26 horas el control descendió a 11.86 a 41.03, mientras que el 3% y 6% mantuvieron niveles cercanos al 100% con 99.39 a 0.70 y 99.00 a 0.79, por lo cual las pruebas inferenciales de ANOVA, Friedman y Wilcoxon, con un valor de $p < 0.05$ confirmando estas diferencias y validando que la hipótesis alterna es correcta.

- **Hipótesis específica 1**

- H_0 : La concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto no influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- H_1 : La concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

La concentración de dióxido de titanio es factor decisivo en la eficiencia de la mitigación, en las pruebas de óxidos de nitrógeno a las 4 horas, la media de control fue de 4.32 a 45.52, mientras que al 6% alcanzo un 52.91 a 29.22 y el 9% llego de 62.94 a 20.88; a las 26 horas la diferencia se mantuvo donde el 0% mostro apenas de 4,61 a 61.62, frente al 35.77 a 26.54 del 6% y el 42.42 a 13.30 del 9%; en los ensayos de rodamina b, el contraste fue aún más marcado a las 4 horas, las muestras del 0% 14.14 a 37.47, mientras que el 9% alcanzo un 99.05 a 0.69; y a las 26 horas del 0% descendió a 11.86 a 41.03, mientras que en las concentraciones de 3% y 6% mantuvieron sus valores en 99.39 a 0.70 y 99.00 a 0.79; de manera similar, con la rodamina b con el espectrómetro el 0% obtuvo valores de 6% en 57.12 a 11.77 y el 9% de 57.97 a 19.02;

donde las pruebas de ANOVA y Tukey del valor $p < 0.001$ evidenciando que el 0% se diferencia de forma significativa del resto, por lo que se acepta la hipótesis alterna.

Hipótesis específica 2

- H_0 : El tiempo de reacción del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto no influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- H_1 : El tiempo de reacción del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto influye significativamente para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

El tiempo de exposición del concreto con adición del dióxido de titanio, también influye en el grado de mitigación alcanzado, en el caso de los óxidos de nitrógeno a las 4 horas, el 6% presento una media de 52.91 a 29.22, mientras que a las 26 horas se estabilizo en 35.77 a 26.54; el 9% paso de 62.94 a 20.88 de 42.42 a 13.30, mostrando que la prolongación del tiempo permite una reacción más sostenida y homogénea; en los ensayos con rodamina b esta tendencia al 6% los valores fueron de 98.04 a 1.22 en 4 horas y 99.00 a 0.79 a las 26 horas y teniendo en cuenta al 9% de 99.05 a 0.69 en 4 horas y 98.88 a 0.51; continuando con la similitud en las pruebas de rodamina b con espectrómetro más la esfera de integración que al 6% paso de 53.25 a 6.54 y de 57.12 a 11.77 y finalmente el 9% de 44.77 a 15.90 y 57.97 a 19.02; donde estas variaciones temporales fueron estadísticamente significativas con la prueba de Friedman donde el valor de p es de 0.027 a las 4 horas y 0.035 a las 26 horas, lo que permite aceptar la hipótesis alterna.

Hipótesis específica 3

- H0: La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio con respecto al cambio de coloración en el concreto no es significativa para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.
- H1: La influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio con respecto al cambio de coloración en el concreto es significativa para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay – Apurímac, 2024.

El cambio de coloración que experimenta el concreto con dióxido de titanio no solo es un efecto estético, sino releja un mayor nivel de actividad fotocatalítica, en las pruebas de rodamina b mediante el espectrómetro más la esfera de integración a las 4 horas el control mostro valores mínimos de 3.03 a 3.38 al 0%, mientras que en el 6 y 9% alcanzaron medias de 53.25 a 6.54 y 44.77 a 15.90 respectivamente a las 26 horas, los mismo grupos mantuvieron un comportamiento superior de 57.12 a 11.77 para el 6% y 57.97 a 19.02 para el 9%, frente al control que llego a 7.82 a 25.46; el análisis de ANOVA y Tukey mostro al 0% como un grupo aparte del resto, con ello se valida la hipótesis alterna, así evidenciando un cambio de coloración en el concreto está vinculado a una mayor eficiencia en la mitigación de contaminantes.

5.4. Discusión de los resultados

La presente investigación, determino la influencia del fotocatalizador del dióxido de titanio en el concreto para la mitigación del dióxido de titanio, evidencia al analizar conjuntamente la concentración del fotocatalizador, el tiempo de reacción; las muestras sin incorporación del dióxido de titanio no alcanzaron los parámetros mínimos exigidos por la norma UNI 11259 se determinó que al utilizar mayor cantidad de dióxido de titanio (TiO_2), sus propiedades fotocatalíticas aumentan y logra cumplir con los parámetros que exige la norma UNI 11259, los valores alcanzados de 0%,3%,6% y 9% con TiO_2 en R4 para la mitigación del indicador de rodamina B fueron de 14.14%, 98.13%, 98.04%, 99.05%, y en R26 fueron de 15.43%, 99.18%, 98.60%, 98.95%; asimismo, para la mitigación del indicador de rodamina b con espectrómetro más esferas de integración fueron de 3.04%, 45.91%, 53.25%, 44.78% en R4 y en R26 fueron de 7.82%, 47.25%, 57.12%, 57.974%, estos valores obtenidos están dentro de los parámetros exigidos en la norma UNI 11259 que indica que $R_4 > 20$ y $R_{26} > 50$, por lo tanto se logró cumplir con los parámetros exigidos de la norma, para Coral & Rodríguez (2022), manifiesta que los valores alcanzados de 3%,6%,9% con TiO_2 en R4 del ensayo de rodamina B fueron de 1.405%, 23.12%, 36.182%, 42.312%, y en R26 fueron de 1.4175%, 42.774%, 59.38%, 67.732%, es decir que los valores se encuentran dentro de los parámetros exigidos por la norma UNI 11259 a comparación de ambas investigaciones demuestran que existen coincidencias debido a que las concentraciones de dióxido de titanio del 3%, 6%, 9% son las mismas ya que ambas investigaciones producen una mayor fotocátalisis con concentraciones de TiO_2 del 9% con tiempos de 26 horas expuestas a los rayos Uv, en comparación con la muestra patrón sin adición que no produce fotocátalisis mediante los ensayos de decoloración del indicador de rodamina b y espectrómetro más esferas de integración además que los resultados se encuentra dentro de las normas establecidas por la UNI 11259; además, la investigación se determinó que

al utilizar mayor cantidad de TiO_2 , se da mayor mitigación de los NO_x , cuyas variaciones alcanzadas fueron de 3%, 6%, 9% con TiO_2 en R4 los resultados de la mitigación de óxidos de nitrógeno fueron de 4.71%, 9.80%, 35.76%, 42.01% y en R26 4.814%, 13.852%, 52.10%, 62.54%; por lo tanto, se logra una mayor degradación de los NO_x a concentraciones del 9% y 26 horas frente a una muestra patrón, para Coral (2022), manifiesta que los valores alcanzados de 3%, 6%, 9% con TiO_2 en R26 ,fueron de 78.50%, 105.35%, 131.34%, la comparación de ambas investigaciones demuestran que existen coincidencias en los valores obtenidos ya que las concentraciones de dióxido de titanio (TiO_2) son las mismas, donde la adición del 9 % de TiO_2 , con tiempos de 26 horas logran una mayor mitigación de los óxidos de nitrógeno mediante el resultado de la mitigación de óxidos de nitrógeno; por lo cual, contribuyen alternativas viables y sostenibles para la mitigación de óxidos de nitrógeno en la ciudad de Abancay, demostrando que el concreto fotocatalítico, presenta una estrategia prometedora para mejorar la calidad del aire.

En la investigación demuestra que la incorporación del dióxido de titanio en el concreto influye de manera significativa en la mitigación de óxidos de nitrógeno, especialmente en las concentraciones del 6% y 9% que superaron ampliamente los valores establecidos por la norma UNI 11259 tanto en las mediciones a las 4 horas de 35.76% y 42.01%; como a las 26 horas de 52.10% y 62.54%, lo que evidencia que la concentración del fotocatalizador resulta determinante para garantizar la eficiencia descontaminante; además siendo insuficiente el de 3% cuyos valores no lograron con los criterios normativos; en cuanto al tiempo de reacción, se observó que a medida que se prolonga la exposición a la radiación ultravioleta, las muestras con mayor adición de dióxido de titanio mantiene e incrementa su capacidad de degradación lo que confirma la estabilidad de su desempeño fotocatalítico en el tiempo; asimismo, los cambios de

coloración registrados mediante el espectrómetro más la esfera de integración y el software “Image J” corroboran que el dióxido de titanio no solo actúa como descontaminante, sino como también induce variaciones perceptibles en el aspecto del concreto, las cuales funcionan como indicadores indirectos de la actividad fotocatalítica, al contrastar estos hallazgos con lo reportado por Carazas & Palomino (2020), quienes evaluaron morteros con adiciones de 3%, 5% y 7% de dióxido de titanio se aprecia que aunque en sus muestras lograron cumplir con la norma UNI 11259, los niveles de la degradación fueron menores de un máximo de 36.81% en 26 horas en comparación con los alcanzados en este estudio; estas diferencias pueden ser por las variaciones en el tipo de material utilizado como es el mortero y concreto, la relación de agua y cemento, como también las condiciones experimentales, lo que confirma que la influencia del dióxido de titanio depende de la concentración como el sistema cementicio empleado; entonces, se concluye que el concreto de 6% y 9% de dióxido de titanio ofrece una alternativa más eficiente y sostenible frente a los resultados de morteros tradicionales, consolidando su potencial para mejorar la calidad del aire y sostenibilidad de la ciudad de Abancay.

En los resultados evidencia que la incorporación del dióxido de titanio en el concreto un impacto altamente significativo en la mitigación de óxidos de nitrógeno, especialmente en las concentraciones de 6% y 9% alcanzaron valores de degradación de 35.76% y 42.01% a las 4 horas y de 52.10% a 62.54% a las 26 horas cumpliendo y superando ampliamente los criterios establecidos por la norma UNI 11259; en el estudio de Cruz & Zaga (2024), realizó también en la ciudad de Abancay pero aplicado en mezclas asfálticas, reportó valores de autolimpieza a través del ensayo de rodamina b en 26 horas de hasta 56.60% para las concentraciones de 7% de dióxido de titanio; si bien confirma la capacidad fotocatalítica del material, resulta menor

frente a los valores alcanzados en el concreto de este estudio, esta diferencia puede ser por la naturaleza del material coméntico frente a la mezcla asfáltica, ya que el concreto ofrece una superficie más reactiva y estable para la fotocatalísis, mientras que el asfalto presenta una matriz orgánico que limita la eficiencia de dióxido de titanio; asimismo, en cuanto a la concentración se observa que en ambas investigaciones la efectividad fotocatalítica se incrementa conforme se eleva el porcentaje de dióxido de titanio, en caso del asfalto los valores no alcanzan niveles altos como en el concreto, respecto al tiempo de reacción la investigación actual demostró eficiencia fotocatalítica del concreto con dióxido de titanio se mantiene y aumenta de manera sostenida con el paso de las horas, por lo que tiene mayor estabilidad en comparación de más mezcla asfálticas, en la coloración los resultados obtenidos en el concreto evidenciaron cambios perceptibles vinculados a la fotocatalísis, aspecto que en el estudio local de mezclas asfálticas no fue considerado, lo que refuerza la pertinencia del análisis cromático como variable de seguimiento de la actividad fotocatalítica, por lo cual los resultados del estudio demuestran que en el concreto de 6% y 9% de dióxido de titanio se constituye que la alternativa más eficaz para la reducción de contaminantes en la ciudad de Abancay.

VI. Conclusiones

- Se determinó que la incorporación del fotocatalizador del dióxido de titanio (TiO_2) influye significativamente en la capacidad del concreto para mitigar óxidos de nitrógeno (NO_x) presentes en el ambiente urbano de la ciudad de Abancay – Apurímac, los resultados experimentales evidenciaron que las mezclas fotocatalíticas activadas mediante radiación ultravioleta presentaron una mayor eficiencia en la degradación de contaminantes en el aire en comparación con el concreto convencional; Asimismo, el comportamiento del concreto con TiO_2 demostró una respuesta fotocatalítica estable y progresiva, validando técnicamente su aplicación como material sostenible orientado al saneamiento ambiental urbano; en ese sentido, se concluye que el concreto fotocatalítico representa una alternativa ecoeficiente para reducir la contaminación del aire, generada por el creciente parque automotor y desarrollo urbano de la ciudad de Abancay, esta tecnología contribuye directamente a mejorar la calidad del aire y fortalecer estrategias de infraestructura urbana sostenible en la región Apurímac.
- Respecto a la concentración del fotocatalizador del dióxido de titanio, se determinó que la dosificación óptima corresponde al 6% de dióxido de titanio (TiO_2) en relación con el peso del agregado fino, debido a que dicha proporción alcanzó un adecuado equilibrio entre eficiencia fotocatalítica, comportamiento físico-mecánico y viabilidad técnica de la mezcla. Los ensayos experimentales evidenciaron que las mezclas con 6% y 9% de TiO_2 lograron porcentajes superiores al 50% de degradación del indicador Rodamina B y elevados niveles de mitigación de NO_x , superando ampliamente al concreto patrón sin adición fotocatalítica; Por ello, se concluye que la concentración del 6% y 9% representa

la dosificación más eficiente y técnicamente recomendable para futuras aplicaciones urbanas y ambientales en la ciudad de Abancay.

- En relación con el tiempo de reacción del fotocatalizador, se concluye que la exposición prolongada a radiación ultravioleta influye directamente en la eficiencia del proceso de fotocátalisis del concreto con TiO_2 , los resultados obtenidos demostraron que las mezclas sometidas a 26 horas de exposición UV alcanzaron mayores porcentajes de degradación en comparación con las muestras evaluadas a 4 horas, evidenciando un incremento progresivo en la capacidad oxidante del material. La mezcla con 6% de TiO_2 presentó valores de degradación de Rodamina B de 53.25% a 4 horas y 57.12% a 26 horas, mientras que la mezcla con 9% alcanzó hasta 57.97% a las 26 horas de exposición, estos resultados confirman que el tiempo de reacción constituye un factor fundamental para mantener activa la capacidad fotocatalítica del concreto y favorecer la reducción continua de contaminantes atmosféricos en condiciones urbanas reales; asimismo, las condiciones climáticas y la elevada radiación solar de la ciudad de Abancay favorecen técnicamente la activación natural del dióxido de titanio aplicado en superficies urbanas expuestas.
- Finalmente, se determinó que el cambio de coloración del concreto fotocatalítico guarda relación directa con la actividad fotocatalítica y la degradación de contaminantes en el aire, las mezclas con mayores concentraciones de TiO_2 presentaron variaciones cromáticas más evidentes y sostenidas durante los ensayos de exposición UV, demostrando una correlación entre la pérdida de color del indicador Rodamina B y la eficiencia de mitigación de NO_x , el análisis fotocromático permitió validar técnicamente el comportamiento superficial del concreto mediante el uso de herramientas digitales y espectrales aplicadas al procesamiento de imágenes. Los resultados obtenidos confirman

que el análisis de coloración constituye un indicador confiable para evaluar el desempeño fotocatalítico del concreto con nanopartículas de TiO_2 , se concluye que el concreto fotocatalítico no solo presenta capacidad descontaminante, sino también propiedades funcionales inteligentes que permiten monitorear indirectamente su actividad ambiental, convirtiéndose en una alternativa innovadora para futuras aplicaciones de infraestructura sostenible en la ciudad de Abancay.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda promover la aplicación del concreto fotocatalítico con dióxido de titanio (TiO_2) en proyectos de infraestructura urbana impulsados por las construcciones privadas de la población en general, Municipalidad Provincial de Abancay y el Gobierno Regional de Apurímac, principalmente en las avenidas, calles y zonas con mayor congestión vehicular donde se generan elevadas concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x), la investigación desarrollada permitió determinar que el concreto con TiO_2 posee una capacidad significativa para reducir contaminantes atmosféricos mediante procesos de fotocátalisis activados por radiación ultravioleta natural, se recomienda implementar esta nanotecnología en pavimentos, veredas, bermas centrales, muros urbanos y fachadas institucionales, debido a que Abancay presenta un crecimiento urbano acelerado y un incremento progresivo del parque automotor; además, es importante que la población participe activamente mediante programas de sensibilización ambiental relacionados con infraestructura sostenible y calidad del aire, promoviendo el cuidado y mantenimiento de las superficies fotocatalíticas, la aplicación de este concreto no solo contribuirá a reducir la contaminación atmosférica, sino también a mejorar la salud pública y disminuir enfermedades respiratorias asociadas a emisiones vehiculares, es recomendable desarrollar proyectos piloto en arterias principales como como es vías que conectan la ruta Nacional Ruta Nacional PE-30 A y la Vía Nacional PE-3 la Av. Venezuela, Av. Seoane, Av. Prado y las vías de la parte del cercado la Av. Arenas, Av. Arequipa, Av. Núñez y vías con alta circulación vehicular, con el objetivo de evaluar el

comportamiento del concreto bajo condiciones reales de exposición ambiental, en las entidades públicas deberán coordinar con universidades e instituciones técnicas para realizar monitoreos permanentes de NOx y evaluar el impacto ambiental de estas tecnologías, la incorporación de concretos fotocatalíticos permitirá posicionar a Abancay como una ciudad pionera en infraestructura urbana descontaminante y sostenible en la región sur del Perú, Finalmente, se recomienda incluir este tipo de materiales innovadores dentro de futuras políticas públicas y expedientes técnicos de obras urbanas en la región Apurímac.

- Adoptar una concentración técnica y eficiente del fotocatalizador, por lo cual se sugiere utilizar un 6% y 9% de dióxido de titanio en las mezclas de concreto, ya que este porcentaje logro una alta eficiencia fotocatalítica sin comprometer el equilibrio entre desempeño, este valor demostró ser eficiente para degradar contaminantes sin la necesidad de sobredimensionar el uso del aditivo.
- Asegurar los tiempos adecuados de exposición a la radiación UV para que el fotocatalizador active su capacidad descontaminante, se recomienda garantizar una exposición mínima de 26 horas a la luz solar o artificial, además se recomienda tener en cuenta los cambios de clima y menos luminosidad de luz en temporadas de lluvia.
- Se considere el análisis del cambio de coloración en el concreto fotocatalítico, ya que este factor influye tanto en la eficacia como en la aceptación estética del material; además, es importante aplicar herramientas objetivas como el espectrómetro más la esfera de integración y como también el análisis digital del software “Image J” para medir de manera precisa las variaciones y comparaciones

con escala estandarizada de color que permita correlacionar la degradación cromática con la capacidad de mitigación del contaminante.

- Fomentar la investigación aplicada en entornos reales, aunque los resultados en laboratorio fueron positivos, se recomienda realizar estudios complementarios en condiciones reales de clima, contaminación y tránsito en la ciudad de Abancay, esto permitirá validar la durabilidad, mantenimiento y desempeño continuo del concreto fotocatalítico a largo plazo.

VIII. Referencias

- Lopez-Bernal, O. (2008). *La sustentabilidad urbana, una aproximacion a la gestion ambiental en la ciudad.*[Internet][Consultado el 14/01/2025]. Obtenido de https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789585164000_A41606167/preview-9789585164000_A41606167.pdf
- Maury, A., & De Belie, N. (2010). *Estado del arte de los materiales a base de cemento que contienenTiO2: propiedades auto-limpiantes.*[Internet][consultado el 13/02/2025]. Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/243/289>
- Ávila-García, H. (2018). *Propiedades fotocataliticas del dioxido de titanio en concreto y mortero.*[Internet][consultado el 13/10/2024]. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000772347>
- Albergrass. (s.f.). *¿Qué es la fotocatálisis?*[Internet][Consultado el 14/03/2025]. Obtenido de <https://albergrass.com/medio-ambiente-y-sostenibilidad/que-es-la-fotocatalisis>
- Almazan, D. (02 de Noviembre de 2015). *Introduccion a la fotocatalisis* [Internet], [Consultado el 14/02/2025]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=bXpE7GxgEeo>
- Anonimo. (s.f.). *Introduccion.* Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/capitulo0.pdf

- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*[Internet][Consultado el 10/10/2024]. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Armaković, S. j., Savanović, M. M., & Armaković, S. (2023). *El dióxido de titanio como el fotocatalizador más utilizado para la purificación del agua: una visión general*. [Internet][Consultado el 04/01/2025]. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4344/13/1/26>
- Avila Garcia, H. (2018). *aplicaciones del concreto modificado por el dioxido de titanio*[INTERNET][Consultado el 16/05/2026]. Mexico. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/17b989c5-c5ef-40f6-b286-8888a567f792/content>
- Ávila García, H. (2018). *Propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio en concreto y mortero*[Internet][Consultado el 16/05/2026]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000772347>
- Bernal-Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigacion*. [Internet][Consultado el 10/10/2024] (Tercera edicion ed.). Obtenido de <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%c3%b3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Bernuy-Chavez, G. O., & Flores-Cortez, H. H. (2016). *Evaluacion de las propiedades mecanicas y capacidad autolimpiable del mortero de cemento tipo modificado con dioxido de titatio(TiO2)*[Internet][Consultado el 12/02/2025]. doi:<https://bit.ly/3NgahEb>

- Bunea, G., Stratulat, S. M., Mihai, P., & Ionuț-Ovidiu, T. (2023). *Uso de nanopartículas de arcilla y dióxido de titanio en mortero y hormigón: un análisis de vanguardia*[Internet][Consultado el 16/05/2026]. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2079-6412/13/3/506>
- Caballa Olivares, C. A., & Fraga Roja, J. J. (2023). *Concreto fotocatalítico con adición de nanomateriales de dióxido de titanio para aumentar la durabilidad en elementos exteriores en edificaciones*[Internet][Consltado el 16/05/2026). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/7021>
- Caballa-Olivares, C. A., & Fraga-Rojas, J. J. (2023). *Concreto fotocatalítico con adición de nanomateriales de dióxido de titanio para aumentar la durabilidad en elementos exteriores en edificaciones. [Internet][Consultado el 15/01/2025].* Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/URPU_4b8d0b898d2cff015027a9f88605ce51
- Cabañas, et al. (2019). *Luz solar y TiO₂ para eliminar patógenos contenidos en agua de pozo: comportamiento de la fotocatálisis*[Internet][Consultado el 14/10/2024] (Vol. 23). Mexico. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/467/46760427001/html/>
- Campos-Castellanos, E. (2020). *Síntesis, caracterización y uso de fotocatalizadores de zno y mno a partir de residuos de pilas.* Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/233725/1/TFG%20EDUARDO%20CAMPOS.pdf>
- Carazas&Palomino. (2020). *Evaluacion de las propiedades fisico mecanicas y fotocataliticas del mortero patron de cemento respecto al mortero de cemento sdicionado con dioxido*

- de titanio [Internet][Consultado el 13/11/2024]. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/item/9bc2f0bf-4756-47b8-853c-fb658eafa70f>
- Carnacho-de Báez, B. (s.f.). *metodologia de la investigacion cientifica*[Internet][Consultado el 10/10/2024]. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e31aa06-209f-408c-943a-38e50bb8cad8/content>
- Carnicer, J. M. (2007). *Contaminación atmosférica* [Internet][Consultado el 05/05/2025]. Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/si_tesis_contaminacion_atmosferica_-_contaminacion_ambiental.pdf
- Cemeneto YURA [CY]. (s.f.). *Curado del Concreto (Primera Parte)*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de [https://www.yura.com.pe/blog/curado-concreto-primera-parte/#:~:text=2.,y%20de%20calor\(1\)](https://www.yura.com.pe/blog/curado-concreto-primera-parte/#:~:text=2.,y%20de%20calor(1)).
- César, A. C., Carvalho, J., & Nascimento, L. F. (2015). *Asociación entre la exposición a NOx y muertes por enfermedades respiratorias en una ciudad mediana brasileña*[Internet][Consultado el 03/10/2025]. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4661030/?utm_source
- Chirinos-Peralta, K. L., & Aquisue-Dueñas, E. J. (2022). *Mortero fotocatalítico con TiO_2 para la reducción de contaminantes del aire producidas por emanaciones vehiculares.*[Internet][Consultado el 16/01/2025]. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732022000100026

- Chong , M. N., & Jin, B. (2010). *Avances recientes en la tecnología de tratamiento fotocatalítico de agua: una revisión*[Internet][Consultado el 03/03/2025] (Vol. 44). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410001739?via%3Dihub>
- Climate & Clean Air Coalition [CCAC]. (2024). *El aumento de las emisiones de óxido nitroso pone en peligro el calentamiento global, la capa de ozono y la salud humana.*[Internet][Consultado el 05/03/2025]. Obtenido de <https://www.ccacoalition.org/es/news/rise-nitrous-oxide-emissions-endangers-pathway-15degc-ozone-layer-and-human-health>
- Climate and Clean Air Coalition [CCAC]. (2017). *Un nuevo estudio cuantifica los impactos globales en la salud y el medio ambiente del exceso de emisiones de óxido de nitrógeno de los vehículos diésel* [Internet][05/05/2025]. Obtenido de <https://www.ccacoalition.org/es/news/new-study-quantifies-global-health-environmental-impacts-excess-nitrogen-oxide-emissions-diesel-vehicles>
- Colegio de Ingenieros Apurimac [CIA]. (2021). *El problema de la calidad de aire en el distrito de Andahuaylas*[Internet][Consultado el 05/10/2024]. Obtenido de <https://cipapurimac.org.pe/>
- Comindex. (2024). *Mejores propiedades y eficacia en revestimientos autolimpiables.*[Internet][Consultado el 16/05/2026]. Obtenido de <https://www.comindex.es/novedades/mejores-propiedades-y-eficacia-en-revestimientos-autolimpiables>

- Condorchem Enviro Solutions [CES]. (s.f.). *Fotocatálisis para el tratamiento de emisiones COV's.*[Internet][Consultado el 16/01/2025]. Obtenido de <https://condorchem.com/es/blog/fotocatalisis-tratamiento-covs/>
- Condorchem Enviro Solutions [CES]. (s.f.). *Tratamiento y reducción de NOx.*[Internet][Consultado el 02/02/2025]. Obtenido de <https://condorchem.com/es/depuracion-nox/>
- Coral - Rodríguez, R. M. (2022). *Desempeño mecanico y fotocatalitico del pavimento de concreto hidraulico con adicion de dioxido de titanio* [Internet][Consultado el 13/11/2024]. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_1778fe1ac3e51a485cf69845f32a5924
- Cordero, J. M., Hingorani, R., Jiménez-Relinque, E., Grande , S., Borge, R., Narros, A., & Castellote, M. (2020). *Eficiencia de eliminación de NOx en pavimentos fotocatalíticos urbanos a escala piloto*[Internet][Consultado el 13/10/2024] (Vol. 719). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720309694>
- Dalton, J. S., Janes, P., Jones, N., Nicholson, J. A., Hallam, K., & Allen, G. (2022). *Oxidación fotocatalítica de gases NOx utilizando TiO2 : un enfoque espectroscópico de superficie*[Internet][Consultado el 03/03/2025] (Vol. 120). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749102001070>
- Daneshvar , N., Salari, D., & Khataee, A. R. (2004). *Degradación fotocatalitica del colorante azoico rojo ácido 14 en agua sobre ZnO como catalizador alternativo al TiO2*[Internet][Consultado el 03/03/2025] (Vol. 162). Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1010603003003782?via%3Dihub>

Diario el Peruano [DP]. (2021). *Decreto Supremo que modifica el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM, que establece Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores*[Internet][Consultado el 03/03/2025]. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2002063-16>

Dirección Regional de Salud Apurímac [DIRESA]. (2017). *Análisis de situación de salud Apurímac* [Internet][Consultado el 19/11/2025]. Obtenido de https://diresaapurimac.gob.pe/media/attachments/2018/09/07/asis2017.pdf?utm_source

Dueñas, J. (s.f.). *¿Sabes qué es la fotocatalisis? Dos nuevos aparcamientos de la Cañada la emplean ya* [Internet][Consultado el 11/03/2025]. Obtenido de <https://yourhometown.es/sabes-que-es-la-fotocatalisis-dos-nuevos-aparcamientos-de-la-canada-la-utilizan/>

Environmental Protection Agency [EPA]. (2025). *Contaminación por dióxido de nitrógeno (NO₂)* [Internet][Consultado el 19/11/2025]. Obtenido de https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2?utm_source

Envisioning. (2011). *Material autolimpiable* [Internet][Consultado el 11/01/2025]. Obtenido de <https://www.envisioning.io/signals/self-cleaning-material>

Escobar-Alarcón, L., & Solís-Casados, D. A. (2021). *Desarrollo de fotocatalizadores basados en TiO₂ en forma de película delgada para la degradación de moléculas orgánicas en solución acuosa*. [Internet][Consultado el 13/02/2025]. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-

56912021000100001#:~:text=Cuando%20el%20semiconductor%20(fotocatalizador)%
20es,h+)%20en%20la%20BV.

Espinal-Hinostroza, J. G., & Rimachi-Araujo, G. (2020). *Influencia de la adición de nanosílice (SiO₂) y dióxido de titanio (TiO₂) en las propiedades del concreto modificado con baja dosificación de nanopartículas.*[Internet][Consultado rel 04/03/2025]. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/f6b70c82-dc58-4531-8358-df901faf42df>

Espinas, D. (2021). *Síntesis verde y caracterización de sol-gel de TiO2 para superficies autolimpiables* [Internet][Consultado el 16/01/2025]. Obtenido de <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/181923>

Fabiula Pereira , L., Orlando Lima, J., & Iran Rocha, S. (2025). *Comparative Evaluation of Photocatalytic Efficiency*. [Internet] [Consultado el 19/05/2026]. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4344/15/3/201>

Fernandez Mantilla, J. d. (2023). *Influencia de dióxido de titanio en el concreto permanente con efecto fotocatalizador, Distrito de Nuevo Chimbote*[Internet][Consultado el 16/05/2026]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4509>

Fuentes, T., Vazquez, C., & Vazquez, K. (2016). *Incorporación de nanomateriales en el concreto fotocatalítico para la reducción de NOX y CO2.*[Internet][Consultado el 14/11/2024] (Vol. 3). Revista de energia quimica y fisica. Obtenido de https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol3num8/Revista_Energia_Quimica_Fisica_V3_N8_6.pdf

Fujishima , A., Zhang , X., & Tryk , D. A. (2008). *Fotocatálisis de TiO2 y fenómenos superficiales relacionados.[Internet]/Consultado el 14/01/2025].* Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167572908000757?via%3Dihub>

Fujishima, A., Rao, T. N., & Donald, A. T. (2000). *Fotocatálisis de dióxido de titanio*. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389556700000022?via%3Dihub>

Fundación Aquae [FA]. (2021). *Contaminación del aire: causas y tipos*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/causas-y-tipos-de-la-contaminacion-del-aire/>

Garcia-Sanz, M. P., & Garcia-Meseguer, M. (s.f.). *los metodos de la investigacion*[Internet][Consultado el 11/10/2024]. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-135806/12%20metodologc3ada-1-garcia-y-martinez.pdf>

Gomez, M., & Herrera, M. (2022). *Aplicaciones Del Dioxido De Titanio Como Fotocatalizador En Ingenieria Ambiental*. [Internet][Consultado el 11/01/2025]. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432022000100113

Google Maps. (2025). *Abancay*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/El+Peregrino+Apart+Hotel+Abancay/@-13.6336904,-72.8885293,14z/data=!4m12!1m2!2m1!1sHoteles!3m8!1s0x916d02dfda174375:0xa0d>

6a267af508b8!5m2!4m1!1i2!8m2!3d-13.6341399!4d-

72.8755527!16s%2Fg%2F1hhmbfn0t?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1

Governemnt of Canada [GC]. (2013). *Lluvia ácida y problemas relacionados*[Internet][Consultado el 03/03/2025]. Obtenido de https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/related-issues.html?utm_source

Guerrero, V. H., Mosquera, E., Rosas-Laverde, N. M., & Debut, A. (2015). *Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Dióxido de Titanio Obtenidas por el Método de Sol-Gel*. [Internet][Consultado el 11/01/2025]. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283266714_Sintesis_y_Caracterizacion_de_Nanoparticulas_de_Dioxido_de_Titanio_Obttenidas_por_el_Metodo_de_Sol-Gel

Guerrini, G. L., & Beeldens, A. (2012). *Beneficios ambientales de los innovadores materiales cementicios fotocatalíticos para carreteras*. [Internet][Consultado el 14/01/2025]. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271526052_Environmental_benefits_of_innovative_photocatalytic_cementitious_road_materials

Gutierrez-Herencia, J., & Yucra-Cardena, R. F. (2024). *Análisis comparativo de las propiedades físico - mecánicas y fotocatalíticas de un adoquín tipo II adicionado con dióxido de titanio y fibra de acero wirand ff3 con relación a un adoquín patrón*[Internet][Consultado el 03/03/2025]. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/item/7eb6768f-22ac-42a9-ab52-7cfa23bfce0d>

- Hassan, M. M., Dylla, H., Mohammad, L. N., & Rupnow, T. (2010). *Effect of Application Methods on Effectiveness of Titanium Dioxide as Photocatalyst Compound to Concrete Pavement*. [Internet] [Consultado el 14/01/2025]. Obtenido de <https://trid.trb.org/View/909617>
- Hernández-González, O. (2021). *Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen*. [Internet] [Consultado el 10/10/2024] (Vol. vol 38). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002
- Hernández-Rodríguez, E. N. (2021). *El dióxido de titanio, un material estrella*. Obtenido de <https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/eugreka//contribuciones/387-el-dioxido-de-titanio-un-material-estrella>
- Hernández-Rodríguez, M. (2015). *Estudio de las propiedades físicas de concreto modificado con TiO₂ para la obtención de superficies fotocatalíticas*. [Internet] [Consultado el 16/11/2024]. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/6247>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. d. (2014). *metodologia de la investigacion*. [Internet] [Consultado el 12/10/2024] (Vol. sexta edicion). Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hinostroza Berrios, A. C., & Vasquez Nuñez, Y. A. (2025). *Propuesta de adoquines de concreto con dióxido de titanio (TiO₂) para la evaluación de su desempeño fotocatalítico frente a la contaminación atmosférica urbana en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima* [Internet] [consultado el 16/05/2026]. Obtenido de

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/685696/Hinostroza_B_A_Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hongqiang , R., & Xuxiang , Z. (2020). *Contaminantes de alto riesgo en aguas residuales*[Internet][Consultado el 04/03/2025]. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/titanium-dioxide>

Huamani-Mollo, M. A., & Solis-Guerra, S. (2021). *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio*. [Internet][Consultado el 11/01/2025]. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10434>

Inquisur Conicet[IC]. (s.f.). *UV-Visible con esfera de integración*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://inquisur.conicet.gov.ar/equipamiento/uv-visible-con-esfera-de-integracion/#:~:text=Permite%20el%20reconocimiento%20de%20minerales,formas%20polim%C3%B3rficas%2C%20entre%20otras%20opciones.>

Instituto Nacional Del Cancer [INC]. (s.f.). *radiación ultravioleta* [Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radiacion-ultravioleta>

Lauren, S. (s.f.). *¿Qué significa autolimpieza?*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.biolinscientific.com/blog/what-does-self-cleaning->

- hormigón*[Internet][Consultado el 13/10/2024] (Vol. 24). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810000218>
- Mendive, C. B., & Bahnemann, D. W. (2016). *Mecanismos de la fotocatalisis heterogénea: Titanio bajo iluminación UV y visible*. [Internet][Consultado el 13/02/2025]. Obtenido de https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/B9780128035818038005?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- MINAM. (2001). *Decreto Supremo N° 074-2001-pcm reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire* [Internet][Consultado el 05/05/2025]. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D.S.-N%C2%BA-074-2001-PCM.pdf>
- MINAM. (s.f.). *Estándares de calidad ambiental* [Internet][consultado el 05/05/2025]. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/#:~:text=Los%20Est%C3%A1ndares%20de%20Calidad%20Ambiental,sofisticados%20y%20de%20evaluaci%C3%B3n%20detallada.>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Ministerio del Ambiente aprobó Límites Máximos Permisibles para emisiones de vehículos automotores a fin de mejorar calidad del aire*[Internet][Consultado el 05/05/2025]. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/2017/11/30/ministerio-del-ambiente-aprobo-limites-maximos-permisibles-para-emisiones-de-vehiculos-automotores-a-fin-de-mejorar-calidad-del->

aire/#:~:text=Con%20la%20incorporaci%C3%B3n%20al%20parque,Sistema%20Naci
on

Ministerio del ambiente[MINAM]. (2017). *Establecen Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones atmosféricas para vehículos automotores*[Internet][Consultado el 05/03/2025]. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/establecen-limites-maximos-permisibles-lmp-emisiones-atmosfericas>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MTERD]. (2007). *NOx (Óxidos de nitrógeno)* [Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://prtr-es.es/NOx-oxidoss-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>

Moreno-Huerga, I. (2018). *Evaluacion de autolimpieza de fotocataliticos en el espectro visible frente al UV en materiales en base de cemento*. [Internet][Consultado el 13/10/2024]. Obtenido de https://oa.upm.es/49707/1/TFG_Moreno_Huerga_Imanol.pdf

Moretti-Villegas, L. F., Tafur-Anzualdo, V. I., & Valiente-Saldaña, Y. M. (2023). *Contaminación del aire en la ciudad de Lima, Perú* (Vol. 8). Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000400822

Muhammad-Bilal , T., Muhammad-Shahid, R., Tasmia , N., Muhammad, R., & Tahir , I. (2020). *Nanotecnología y fotocatálisis para aplicaciones ambientales*. [Internet][Consutado el 08/02/2025]. Obtenido de https://www.sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/B978012821192200005X?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge

National Center for Biotechnology Information[NCBI]. (s.f.). *Rhodamine B. PubChem Compound Summary*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Rhodamine-B>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR]. (2017). *Terminología del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres . «Mitigación»*. [Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.undrr.org/terminology/mitigation>

OMS. (2023). *Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire*. Ginebra. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Organizacion Mundial de la Salud [OMS]. (2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud* [Internet][Consultado el 05/05/2025]. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=La%20OMS%20estima%20que%20en,infecciones%20agudas%20de%20las%20v%C3%ADas](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=La%20OMS%20estima%20que%20en,infecciones%20agudas%20de%20las%20v%C3%ADas)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (s.f.). *Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental* [Internet][Consultado el 11/10/2024]. Obtenido de https://www.oecd.org/es/publications/2015/10/frascati-manual-2015_g1g57dcb.html

Raviolo, A., & Farré, A. (2021). *Aprendizaje conceptual del tema concentración de disoluciones: análisis de imágenes de libros de texto universitario*[Internet][Consultado el 03/04/2025] (Vol. 3). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2020000300119#:~:text=concepto:%20la%20concentraci%C3%B3n%20es%20la,de%20solvente%20o%20de%20soluci%C3%B3n.

Raviolo, A., Garritz, A., & Sosa, P. (2011). *Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica* [Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/920/92019747002.pdf>

Reportarte. (Junio de 2011). *Fotocatalisis:la fotointesis de las superficies urbanas*[Internet][Consultado el 10/10/2024]. Youtube, Inglaterra. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=zz9dc7DFw6w>

Rivera-Figueroa, B. E. (2022). *Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio* .[Internet][Consultado el 13/11/2024]. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_55e5da63676fc5b77a73eb67abdf0add/Details

Rodríguez, L., Rodríguez-Alfar, L. F., Luévano-Hipólito, E., & Torres-Martínez, L. M. (2024). *Nanopartículas de TiO₂ fotocatalíticas incorporadas en materiales de construcción* [Internet][Consultado el 03/02/2025]. Obtenido de <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69737/62420>

- Sanjuán-Barbudo, M. Á., & Chinchón-Yepes, S. (s.f.). *Introducción a la fabricación y la normalización del cemento portland*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/32322379.pdf>
- Segura-Montoya, D. J., & Camelo-Manzanares, D. M. (2019). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto con dióxido de titanio (TiO₂)* [Internet][consultado el 02/03/2025]. Obtenido de <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5759/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FINAL%20%28Fotocatal%20aditivo%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2018). *Emisiones de vehículos generan hollín en la atmósfera de Lima y Callao* [Internet][Consultado el 05/05/2025]. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=lima&p=prensa&n=863>
- Siddique, R., & Mehta, A. (2014). *Efecto de los nanotubos de carbono sobre las propiedades de los morteros de cemento*[Internet][Consultado el 03/04/2025]. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813008593>
- Singh, P. L., Kumar-Dhaka, R., Ali, D., Tyagi, I., Sharma, U., & Naik-Banavath, S. (2021). *Remediación de contaminantes nocivos mediante materiales de construcción fotocatalíticos basados en nano-titania: una revisión*[Internet][Consultado el 13/10/2024]. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33963998/>
- Soncco-Paredes, B. E. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas adicionando nanopartículas de dióxido de titanio en la disminución de partículas volátiles*

contaminantes presentes en el aire en morteros de cemento[Internet][Consultado el 13/11/2024].

doi:https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_68af2872377a4e65ba9dc1483de2beb8/Details

Tello-Suárez, E. H. (2019). *Deposición mediante pulverización catódica y caracterización de películas delgadas de carburo (sic) sobre sustrato de acero* [Internet][Consultado el 14/03/2025]. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a34f0ccd-367c-4023-bac2-bc24a4bb0940/content>

Tensco. (2025). *Tecnologías de auto-limpieza en membranas arquitectónicas* [Internet][Consultado el 15/03/2025]. Obtenido de <https://tensco.pe/tecnologias-de-auto-limpieza-en-membranas-arquitectonicas/#:~:text=Adem%C3%A1s%20contribuyen%20a%20la%20sostenibilidad,a%20lo%20largo%20del%20tiempo.>

Toirac-Corral, J. (2012). *Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la república dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón*[Internet][Consultado el 03/04/2025] (Vol. XXXVII). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024622003.pdf>

United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (s.f.). *Los vínculos entre el cambio climático y las políticas sobre lluvia ácida*[Internet][Consultado el 03/10/2025]. Obtenido de https://unfccc.int/resource/ccsites/senegal/fact/fs235.htm?utm_source

Universidad del Desarrollo Centro de Innovación Docente [UDCID]. (s.f.). *¿QUÉ DEBO SABER PARA POSTULAR MI PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?*[Internet][Consultado el 11/05/2025]. Obtenido de <https://innovaciondocente.udd.cl/files/2021/12/7.instrumento-de-seleccion-de-informacion.pdf>

Uzcátegui-Paredes, Á. A. (2010). *reduccion catalitica de oxidos de nitrogeno (NOx) en corrientes gaseosas*. [Internet][Consultado el 02/02/2025]. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/37340ce7-791f-4c8d-8cea-b5cf1174024f/content>

Vallejo-Bendezu, C. (2011). *Crecimiento poblacional y contaminación ambiental en el distrito de ayacucho*[Internet][Consultado el 13/10/2024]. Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9831ac88-1b80-4591-bfbb-b2ffb1b17813/content>

Vásquez - Espinoza, M. A. (2016). *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$* [Internet][Consultado el 13/11/2024]. doi:<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1296>

World Health Organization [WHO]. (s.f.). *La contaminación del aire es responsable de 6,7 millones de muertes prematuras cada año*[Internet][Consultado el 08/10/2024]. Obtenido de <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>

Wotai Yuanwang [WY]. (s.f.). *Dióxido de Titanio Anatasa*[Internet][Consultado el 13/01/2025]. Obtenido de <https://wotaichem.com/es/dioxido-de-titanio-anatasa/>

- Xing, J., Dian, D., Wang, S., & Zhao, B. (2018). *Cuantificación de la eficacia mejorada del control de NOx a partir de reducciones simultáneas de COV y NH3 para reducir la contaminación del aire en la región de Beijing-Tianjin-Hebei, China*[Internet][Consultado el 13/10/2024]. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322403461_Quantification_of_the_enhanced_effectiveness_of_NO_x_control_from_simultaneous_reductions_of_VOC_and_NH3_for_reducing_air_pollution_in_Beijing-Tianjin-Hebei_region_China
- Yang, Y., Yu, Z., Lei, Z., & Jie, Z. (2021). *Improvement of the satellite-derived NOx emissions on air quality modeling and its effect on ozone and secondary inorganic aerosol formation in the Yangtze River Delta, China*[Internet][Consultado el 13/10/2024]. Obtenido de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021ACP....21.1191Y/abstract>
- Zaga-Hinojosa, N. I., & Cruz-Huaman, J. Y. (2024). *Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023*”[Internet][Consultado el 14/11/2024]. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/items/7a61eb09-c8f6-42b6-b245-99564199d968>
- Zamora, L., & Castañeda, R. (s.f.). *Concretos Fotocatalíticos A Partir de Dióxido de Titanio*. [Internet][Consultado el 14/01/2025]. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/472551870/Concretos-fotocataliticos-a-partir-de-dioxido-de-titanio>

Zegarra - Dipas, L. (2019). *Evaluación de contaminantes del aire generados por fuentes móviles de la zona comercial Las Américas, distrito de Abancay [Internet][consultado el 19/11/2025]*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/582197537/tesis?utm_source

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes