

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Fotocatálisis heterogénea para la degradación de
nitratos en efluentes residuales de la agricultura
en el distrito de Majes, Arequipa 2021**

Ivonne Bonet Montaña Paredes

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Mg. Edwin Natividad Gabriel Campos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora y permitirme ser resiliente ante las adversidades que he enfrentado.

En segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia: a mis padres Luis y Heiby y a mis hermanos, por ser siempre mi soporte y motivo en el desarrollo de mi vida, tanto personal como profesional.

De igual manera agradezco a mi asesor Mg. Edwin Natividad Gabriel Campos que con su guía, apoyo y recomendaciones pude dar forma a la tesis que a continuación les presento.

Agradezco al Dr. Pavel Kewin Delgado Sarmiento, profesional de Ingeniería Química, quien me brindó su experiencia en el procedimiento experimental, así como recomendaciones para el presente trabajo de investigación.

De manera especial, agradecer a la Ing. Maribel Margot Gonzales Coaquira, profesional de Ingeniería Ambiental y miembro de la Administración Local del Agua/ Colca - Siguanayacu, quien ofreció su disposición incondicional en el proceso de recolección de la muestra y por su guía en la ruta, lo cual fue fundamental para poder llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

Por último, a la Universidad Continental por la oportunidad otorgada, generando un gran deseo de superación para lograr una de las más importantes metas profesionales establecidas en mi proyecto de vida.

DEDICATORIA

A mi padre, por su esfuerzo para poder cumplir esta meta fijada en mi vida.

A mi madre, por estar siempre a mi lado, por ser mi apoyo, por su cariño incondicional y dedicación a nuestra familia.

Y de manera muy especial, dedicada a la memoria de mi querido abuelo **LUIS MONTAÑA DÍAZ**, quien me enseñó sobre la perseverancia y el trabajo para poder cumplir nuestros sueños, ello me motiva a seguir adelante con todo lo que me proponga. Por todo el amor que me brindó hasta su último aliento y por todo el apoyo que me brinda desde el cielo.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Hipótesis y descripción de variables	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes del problema	8
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. El uso de recursos hídricos en la agricultura y su contaminación.....	14
2.2.2. Normativa Nacional Ambiental	15
2.2.3. Actividad Agrícola y uso de fertilizantes.....	18
2.2.4. Nitratos.....	20
2.2.5. Métodos para eliminación de nitratos en agua.....	20
2.2.6. Procedimiento de Oxidación Avanzada	22
2.2.7. Fotocatálisis heterogénea con dióxido de titanio	23
2.2.8. Semiconductores	26
2.2.9. Dióxido de titanio	26
2.3. Definición de términos básicos.....	27
CAPÍTULO III.....	29
METODOLOGÍA.....	29
3.1. Método y alcance de la investigación	29
3.2. Diseño de la investigación	30
3.2.1. Diseño factorial	30
3.3. Población y muestra.....	31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32

CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	41
4.2. Prueba de hipótesis	54
4.3. Discusión de resultados.....	54
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	45
Gráfica 2. Diagrama de efectos principales.....	46
Gráfica 3. Porcentaje de adsorción de NO_3^-	47
Gráfica 4. Gráfica de superficie de respuesta para degradación de NO_3^-	52
Gráfica 5. Gráfica de contorno para degradación de NO_3^-	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor.....	24
Figura 2. Estructuras del dióxido de titanio.....	27
Figura 3. Niveles para un diseño factorial replicado en el punto central.....	30
Figura 4. Montaje del diseño experimental para la fotocatalisis heterogénea.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos fisicoquímicos para eliminación de nitratos.....	21
Tabla 2. Clasificación de los procesos de oxidación avanzada.....	23
Tabla 3. Matriz con valores de las variables a escala codificada.....	31
Tabla 4. Parámetros de operación de pruebas preliminares.....	38
Tabla 5. Valores reales de variables empleadas en el proceso fotocatalítico.....	39
Tabla 6. Matriz del diseño experimental con valores codificados y reales.....	39
Tabla 7. Concentración inicial de nitratos de la muestra recolectada.....	41
Tabla 8. Matriz de resultados comparado con el ECA de agua para nitratos.....	42
Tabla 9. Matriz de diseño experimental con resultados de variable respuesta.....	43
Tabla 10. Efectos estimados para la degradación de NO_3^-	44
Tabla 11. Porcentaje de adsorción de NO_3^-	47
Tabla 12. Análisis de varianza para degradación de NO_3^- (Tabla ANOVA).....	48
Tabla 13. Resumen del modelo matemático.....	49
Tabla 14. Trayectoria del máximo descenso para la concentración de NO_3^-	50
Tabla 15. Optimización de parámetros para el tratamiento.....	51
Tabla 16. Matriz de Consistencia.....	70
Tabla 17. Matriz de operacionalización de variables.....	71

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la degradación de concentración de nitratos en las aguas residuales de la actividad agrícola del distrito de Majes del departamento de Arequipa, aplicando el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio industrial (Degussa P-25) como catalizador y luz solar, a través de un diseño factorial para el desarrollo del procedimiento experimental.

El método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio fue llevado a cabo en un fotorreactor Batch con una lámpara solar LED, el cual simuló a un concentrador solar; donde cada prueba tuvo como parámetros constantes: cantidad de solución de 300 mL con concentración de nitratos, agitación de 500 RPM y luz solar. Este proceso fue variado con los siguientes parámetros de operación: pH en rangos de 4 a 5, tiempo de tratamiento de 60 a 120 minutos y la concentración del catalizador de 50 a 70 mg/L de acuerdo al diseño factorial establecido.

La concentración de nitratos de la muestra inicial fue de 65,4 mg/L y tras aplicar el tratamiento se logró reducir el 62,08% con una concentración final de 24,8 mg/L como resultado mínimo obtenido con un valor de pH 4, concentración de catalizador de 60 mg/L (ppm) en un tiempo de tratamiento de 60 minutos y el 28,59% con una concentración final de 46,7 mg/L como el resultado más alto de las pruebas experimentales, obtenido con un valor de pH 5, y la concentración de catalizador de 50 mg/L (ppm) en un tiempo de tratamiento de 120 minutos, lo que demuestra que no hay degradación significativa.

Sin embargo, este trabajo muestra a la fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar al ser la fuente de energía como un método prometedor para la eliminación de nitratos u otros contaminantes más persistentes en el agua y se manifiesta como una buena alternativa sustentable y ecoamigable con el medio ambiente con bajos costos.

PALABRAS CLAVE: Fotocátalisis heterogénea, nitratos, catalizador, dióxido de titanio, luz solar.

ABSTRACT

The investigation project's objective is to reduce the concentration of nitrates in wastewater from agricultural activity in Majes district of the department of Arequipa applying heterogeneous photocatalysis method with industrial titanium dioxide (Degussa P-25) as a catalyst and sunlight, through a factorial design for the development of the experimental procedure.

This method was carried out in a Batch photoreactor with an LED solar lamp which simulated a solar concentrator; where each test had constant parameters: quantity of solution of 300 mL with concentration of nitrates, stirring of 500 RPM and sunlight. This process was varied with the following operational parameters: pH in ranges from 4 to 5, treatment time from 60 to 120 minutes and the catalyst concentration from 50 to 70 mg/L according to the established factorial design.

The initial sample's nitrate concentration was 65,4 mg/L and after applying the treatment, it was possible to reduce 62,08% with a final concentration of 24,8 mg/L as the minimum result obtained with a pH value 4, catalyst concentration of 60 mg/L (ppm) in a treatment time of 60 minutes and 28,59% with a final concentration of 46,7 mg/L as the highest result of the experimental tests obtained with a pH value 5, and the catalyst concentration of 50 mg/L (ppm) in a treatment time of 120 minutes, which shows there isn't significant reduction.

However, this project shows heterogeneous photocatalysis with titanium dioxide and sunlight as a promising method for nitrates' elimination or other more persistent pollutants in water and it appears as a good sustainable and eco-friendly alternative with low costs.

KEYWORDS: Heterogeneous photocatalysis, nitrates, catalyst, titanium dioxide, sunlight.

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido elemento que constituye una parte esencial en nuestro planeta. Todos los seres vivos cotidianamente la utilizamos en pequeñas o grandes cantidades, muchas de éstas en parte de la cosecha de nuestros alimentos y en su consumo. Es así que, para la producción alimentaria se necesita una gran demanda de agua que a futuro traerá consigo problemas de escasez en muchas regiones de nuestro país, es por ello que resulta fundamental crear una conciencia ambiental para cuidar y administrar de una manera equilibrada el recurso hídrico.

En el Perú, el 80 % del agua está destinado al sector agrícola, siendo el principal responsable de asumir la conservación de las fuentes de agua por su uso consuntivo. Sin embargo, una parte de este porcentaje se pierde debido a la falta de una buena técnica de riego eficiente o al sobreuso de agua. Adicionalmente, hay poca capacitación del uso de fertilizantes y/o pesticidas que ayudan a mejorar la calidad de los productos agrícolas.

Como consecuencia del exceso de riego con agroquímicos, se generan efluentes residuales con carga contaminante, tales como compuestos de nitratos o sulfatos que deterioran la calidad del recurso hídrico y a mediano o largo plazo provocan la erosión de suelos, así como la acumulación de salinidad. Por eso, es importante regar en las cantidades adecuadas utilizando canales de drenaje que eviten la saturación de las áreas de cultivo.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo darle tratamiento a los efluentes residuales agrícolas generados en la pampa de Majes, aguas abajo del Pedregal Sur del distrito de Majes, mediante la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea para la degradación de nitratos y determinar los parámetros óptimos para este tratamiento y ser comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua a nivel nacional, ya que resulta ser uno de los procesos alternativos de oxidación avanzada y solución a este problema hídrico y ambiental para su reúso poblacional.

Esta tesis se divide en cuatro capítulos, desarrollados a continuación:

En el capítulo I: se plantea y formula el problema, se establecen los objetivos, se explica justificación y la importancia de la investigación junto a las hipótesis y variables a medir.

En el capítulo II: se presentan la búsqueda de los antecedentes de la investigación mediante la recopilación de los trabajos académicos como: tesis, libros, artículos científicos; las bases teóricas y algunas definiciones de términos básicos para que sea entendible por el lector.

En el capítulo III: se presenta el método y el alcance de la investigación como su diseño; del mismo modo, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como la población y muestra.

Es necesario mencionar que todo el proceso metodológico ha sido desarrollado bajo los estrictos criterios de prevención contra el SARS-coV2 (COVID-19), el cual ha sido considerado como una pandemia desde marzo del 2020 según la Organización Mundial de la Salud, por lo que se ha buscado recursos propios y de apoyo para desarrollar el trabajo en laboratorio.

En el capítulo IV: se exponen los resultados del tratamiento y su análisis de la información en contraste con su discusión.

Para finalizar, se presentan las conclusiones del trabajo de investigación presentando la sección de los anexos para acreditar todo lo expuesto en el presente trabajo de investigación.

La autora

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El Perú cuenta con una disponibilidad del 2,2 % de acceso al agua, el cual su uso se distribuye en los siguientes porcentajes para cada actividad: 2 % minera, 6 % industrial, 12 % poblacional y 80 % agrícola. Esta última con un índice de eficiencia del 30-35% según cifras de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)¹. En la actualidad, uno de los mayores problemas de la contaminación de aguas es la excesiva demanda de fertilizantes en la agricultura, suministrados directamente en cultivos o disueltos en el agua; a su vez, el riego excesivo de estas hectáreas que ocasionan la filtración de aguas que produce una recarga inducida al subsuelo, con sales que drenan a los cuerpos naturales de agua más cercanos y como consecuencia producen deslizamientos rotacionales en las laderas de los márgenes de valles adyacentes a estos cultivos.

Esta problemática la atraviesa el distrito de Majes, localizado en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, donde bajo datos censales hasta el año 2017 según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población fue de 65 909 pobladores donde solo el 66,9 % cuenta con disponibilidad de agua por red pública domiciliaria y el 27 % de la población no tiene acceso a ella².

Este distrito es económicamente activo por tener considerables hectáreas para la actividad agrícola y de forma creciente al comercio, por ello se desarrolló el proyecto especial de Irrigación Majes Siguan I; considerado como un importante megaproyecto agro-energético del Sur del Perú. Ubicado en el departamento de Arequipa, diseñado con vistas para una superficie agrícola de 23 000 ha. en primera etapa (I) lo que ha comprendido la construcción del embalse Condoroma y su propio sistema de conducción y construcción de canales para la Irrigación de Pampa de Majes, ubicada en Pedregal Sur Majes.

El sistema hidráulico del Proyecto Majes - Sigvas I comienza en la represa Condoroma, cuya capacidad total de embalse es de 285 MMC (millones de metros cúbicos) o Hm^3 (aportación total anual) con una capacidad útil de 259 MMC o Hm^3 , situado en las partes de la cuenca alta del Río Colca. El agua regulada y entregada al río Colca es captada en la bocatoma Tuti, construida a una cota aproximada de 3 750 m.s.n.m. A través de un canal de aducción de 101,2 km se trasvasa las aguas del río Colca al río Sigvas desde la bocatoma de Tuti hasta el Túnel terminal; luego, mediante el canal de derivación con 15,7 km se transportan las aguas de los ríos mencionados a través de túneles y canales desde la bocatoma de Pitay al desarenador terminal en las Pampas de Majes (ver anexo 1).

Según Martínez (2016), las obras de este proyecto empezaron en el año 1971 y entraron en operación con la llegada del agua desde el año 1983 mediante el riego presurizado y riego por goteo; pese a ello lo utilizado en el método de riego estuvo por encima de lo establecido del proyecto donde la masa anual utilizada excede a lo establecido por el Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua (PROFODUA) y a la definida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) bajo la Resolución Directoral N° 324-2011-ANA/AAA I C-O del 3 de agosto de 2011.

El módulo de riego establecido por la ANA es de 0,577 L/s/ha y actualmente se aplican módulos de riego superiores al máximo permitido de 0,75 L/s/ha planteado por el PROFODUA a nivel de bocatoma de Pitay. Esto ha originado una saturación inducida en el suelo de las Pampas de Majes (de característica poroso) ubicado en Pedregal Sur y el consecuente incremento en las cargas hídricas influyentes en el río Sigvas, que constituye la zona de descarga de filtraciones de agua disuelta con soluciones de sustancias contaminantes provenientes por la bioacumulación de fertilizantes con compuestos nitrogenados generándose alta contaminación de la napa freática al actuar como un dren hacia el río Sigvas, por ende contaminando el agua que escurre en su caudal y ocasionando a nivel geológico, derrumbes de las laderas del margen derecho del Valle de Sigvas³.

Para Ongley (1997), la descarga de sedimentos y contaminantes en las aguas superficiales o subterráneas es consecuencia de prácticas agrícolas desacertadas en el uso inadecuado de fertilizantes que contienen compuestos

de nitratos, los cuales se constituyen como nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y están presentes en todas las verduras y granos, ya sea nitrato de amonio, nitrato de plata, nitrato de potasio, entre otros, y por anegamiento de las tierras de regadío. Por otro lado, esta actividad se perjudica por el uso de aguas superficiales, subterráneas y/o residuales las cuales no cuentan con el debido tratamiento, contaminando a su vez los cultivos dejando abierta la posibilidad que los consumidores y trabajadores agrícolas puedan contraer enfermedades⁴.

La más trascendente inquietud de la contaminación del agua radica en el impacto que puede tener sobre la salud humana, debido a que estas descargas bioacumulan altas concentraciones de contaminantes que pueden ser ingeridas por fuentes directas por medio de los cuerpos de agua naturales como lo es el Río Sigüas o bien en la producción de alimentos por el uso de agua residuales contaminadas. Si se habla directamente de la presencia de nitratos en agua, su consumo representa un peligro para la salud provocando metahemoglobinemia, enfermedad caracterizada por la falta de oxigenación a los tejidos generalmente en niños. Del mismo modo, los iones nitratos pueden formar compuestos nitrosaminas y nitrosamidas, siendo potencialmente cancerígenos⁵.

La contaminación por nitratos es un problema que afecta globalmente la calidad del agua de forma superficial y/o subterránea, como consecuencia del uso masivo de fertilizantes con compuestos nitrogenados y para ello, existen métodos de tratamientos avanzados para aguas contaminadas que permiten la eliminación de estos compuestos, como es el método de la degradación catalítica donde los nitratos pueden ser eliminados del agua empleando agentes oxido-reductores y un catalizador el cual acelera la reacción química.

Ante a lo expuesto es necesario investigar e implementar nuevas tecnologías con procedimientos avanzados en el tratamiento de recursos hídricos con la finalidad de su reutilización. Resolver este problema reflejaría una mejor sostenibilidad del recurso hídrico en panoramas a futuro y ofrecería alternativas para el control de uso de fuentes de agua.

1.1.2. Formulación del problema

a) Problema general

¿Hay degradación de nitratos por la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa?

b) Problemas específicos

- ¿Cuál será la eficiencia de tratar las aguas excedentes de regadío contaminadas con nitratos por medio del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar en comparación con el ECA valorizado en tratamientos avanzados en aguas superficiales para la producción de agua potable basado en la Categoría 1– A3⁷?
- ¿Qué modelo matemático sigue el tratamiento para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa?
- ¿Cuáles son los parámetros óptimos en el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la degradación de nitratos por la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la eficiencia del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar en comparación con el ECA

valorizado en tratamientos avanzados en aguas superficiales para la producción de agua potable basado en la Categoría 1– A3⁶.

- Determinar el modelo matemático del tratamiento para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.
- Determinar los parámetros óptimos en el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO₂) como catalizador y luz solar para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación e importancia teórica

Para el tratamiento de aguas contaminadas, los métodos convencionales no resultan ser tan eficientes en la disminución de contaminantes persistentes; para ello, existen alternativas como la fotocátalisis heterogénea, considerada como un proceso fotoquímico efectivo para la oxidación y degradación de compuestos contaminantes; a su vez, aumenta la velocidad de reacción empleando semiconductores (generalmente dióxido de titanio) en suspensiones gracias a la irradiación solar como fuente de energía comparado a resultados sin su ausencia, que puede ser trabajado en medios ácidos y básicos de acuerdo a la persistencia del contaminante, reduciendo el impacto sobre el agua contaminada a tratar y eliminando efectos sobre la salud y otras preocupaciones ambientales ocasionadas por cargas contaminantes.

El propósito de este trabajo de investigación es brindar aportes al conocimiento existente sobre procesos de oxidación avanzada, cuyos resultados podrán sistematizarse como una propuesta para ampliar la aplicación de proyectos en materia de tratamiento de aguas residuales aplicado en nitratos y la implementación de infraestructuras que cuenten con las autorizaciones de vertimiento o de reuso poblacional correspondientes, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua.

1.3.2. Justificación e importancia práctica

El presente proyecto de investigación se realiza porque existe la posibilidad de mejorar la calidad de las aguas como efluentes residuales agrícolas ante la presencia de contaminantes, con la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando luz solar y dióxido de titanio (TiO_2).

1.3.3. Justificación e importancia metodológica

La aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando TiO_2 como catalizador y luz solar para descontaminar las aguas residuales agrícolas se desarrolla bajo los criterios del método científico y que a través de la experimentación puede ser validada y dar confiabilidad para que sea utilizado como línea base en otros trabajos de investigación y tratamientos de procesos de oxidación avanzada de agua para su potabilización.

1.3.4. Justificación e importancia ambiental

Ante la importancia de preservar el medio ambiente y en especial, la calidad de los recursos hídricos perjudicada debido a la contaminación, lo que representa un hecho ambiental relevante por la acumulación de contaminantes que pueden ser transportados superficial y/o subterráneamente y la necesidad de aplicar un tratamiento adecuado a las aguas residuales provenientes de la actividad agrícola, se da pie a introducir un proceso medioambiental como lo es la fotocátalisis heterogénea, ya que en diferentes estudios la refieren como un método de eliminación de diferentes contaminantes, utilizando la luz solar como fuente de energía y al dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador; siendo una alternativa significativa en la degradación de carga contaminante y en la mitigación de esta problemática ambiental.

El aprovechamiento del uso de la radiación solar de Arequipa como fuente única de energía para promover la reacción a través de la activación de fotocatalizadores como el dióxido de titanio (TiO_2) siendo un insumo no tóxico para la salud humana resulta ser una ventaja medioambiental y aporta en el beneficio económico por el ahorro de costos inherentes al uso de UV artificial.

A su vez, se aplica esta investigación para contribuir con las buenas prácticas ambientales a través de la promoción de una agricultura sostenible, así como el

garantizar la disponibilidad sostenible del agua, velando así por la integración de una buena gestión de los recursos hídricos y el saneamiento para todos.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis

- Hipótesis de investigación (H_i):

H_i: Hay degradación significativa de nitratos por aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando TiO₂ como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.

- Hipótesis nula (H₀):

H₀: No hay degradación significativa de nitratos por aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando TiO₂ como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.

1.4.2. Descripción de variables

a) Variables

i. Variable independiente:

- ❖ Método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio

El cual será variado por los siguientes parámetros de operación:

- Concentración de pH.
- Tiempo de tratamiento
- Cantidad de catalizador

ii. Variable dependiente:

- ❖ Concentración de nitratos en efluentes residuales agrícolas.

b) Operacionalización de variables. (Ver Anexo 2, Tabla 16)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes locales

Churata (2017) publicó la tesis de grado titulada “Degradación del colorante azoico textil naranja II por el método de Fotocatálisis Heterogénea” con el objetivo de degradar el colorante azoico. Los experimentos se realizaron dentro de un fotorreactor diseñado con un tubo espiral colocado sobre un espejo curvo el cual concentra la irradiación solar. Las pruebas realizadas a nivel laboratorio de la Universidad de San Agustín de Arequipa produjeron reacciones químicas según las variables: concentración del catalizador TiO_2 Degussa P-25 (100-600 mg/L), el tiempo (0-3 horas) y peróxido de hidrógeno (0-2 mL/L). Los resultados determinados por espectrofotometría visible (485 nm) evidenciaron una remoción superior a 90 % siendo la fotocatalisis efectiva para la remoción del colorante azoico trabajado con una concentración de 100 mg/L⁷.

Mendoza (2018) publicó la tesis de grado titulada “Evaluación de propiedades fotocatalíticas de dióxido de titanio en la degradación de contaminantes orgánicos” tuvo como objetivo evaluar el efecto autolimpiante que presentan las películas de quitosano (Q) con contenido de dióxido de titanio (TiO_2) modificado con ácido tungstofosfórico a concentraciones de 10, 20 y 30% (p/p) y Evonik P-25 bajo luz visible e irradiación UV; sometidas a una post-evaluación de fotoblanqueo de colorante verde de malaquita. Como mejores resultados sometidos a luz solar se tiene la película de Q- TiO_2 -TPA al 30% (p/p) y expuesta a luz visible con una longitud de onda entre 450-590 nm presenta similares efectos, concluyendo que la eficiencia del efecto autolimpiante post-evaluación se debe a la mayor concentración de nanopartículas de los materiales utilizados de manera estable después de reutilizarlos por cinco veces a nivel laboratorio de la Universidad de San Agustín de Arequipa (UNSA)⁸.

Recientemente, Herrera, Bejarano-Meza, Díaz-Galdosa, Ramos-Quispe y Villalba Condoric (2021) publicaron un artículo de investigación titulado

“Determinación de los parámetros de degradación fotocatalítica de cromo hexavalente a cromo trivalente en un concentrador cilíndrico parabólico solar en una muestra simulada de curtido” con el objetivo de determinar la eficiencia de reducción (UV/TiO₂). Para tal propósito utilizaron un reactor cilíndrico parabólico para su correcta movilización. Las variables independientes fueron el pH, la temperatura y el caudal o flujo, la concentración de cromo hexavalente en función a la variable respuesta que serían la eficiencia del tratamiento, la radiación solar y la concentración del dióxido de titanio (TiO₂). Se determinó que los parámetros óptimos para el desarrollo fueron: pH de 3.75, flujo (Q) de 8,2, temperatura de 30 C°, concentración de dióxido de titanio de 30g en un tiempo de exposición de 4 horas, entre las 10 y 14 horas con una incidencia de radiación de 875 W/m². Los resultados de la concentración de cromo hexavalente en las muestras recolectadas del Parque Industrial Río Seco fueron de 173,28 mg/L y luego del tratamiento fotocatalítico se obtuvieron 58,85 mg/L y 25,89 mg/L respectivamente con relación de 3 a 1 respectivamente, con la conclusión que la investigación puede resolver los problemas en las empresas de curtiembre de la región Arequipa⁹.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Machaca y Yana (2017) publicaron la tesis de grado titulada “Remoción de cianuro de aguas residuales minero metalúrgicos por proceso de oxidación avanzada y fotocátalisis solar”, con el propósito de determinar la remoción de cianuro aplicando tratamiento con tres métodos: fotocátalisis de energía solar-UV-H₂O₂; fotocátalisis de energía solar-UV-FeSO₄ y fotocátalisis radiación ultravioleta UV-FeSO₄-H₂O₂. Estos procesos utilizaron energía solar como fuente de energía y como resultados de los experimentos se logró en la primera prueba el 6,15 % de la remoción con 0,5 g/L de TiO₂ con el proceso UV-H₂O₂; en la segunda prueba, el 29,95 % con el proceso de UV-FeSO₄ con una cantidad de 50 ppm de TiO₂ y, en la tercera prueba se logró remover el 85,28 % de cianuro en el proceso UV-FeSO₄-H₂O₂ con 50 ppm de TiO₂ equivalente a 266.0 mg/L de la muestra inicial de 1806.60 mg/L., todas las pruebas en un tiempo de 120 minutos, lo que evidencia que fue posible remover la concentración de CN⁻ libre presente en los relaves minero metalúrgicos del Centro Minero La Rinconada, Corporación Minera Ananea S.A.C., en la región de Puno¹⁰.

Así también, Santiago (2018) desarrolló la tesis de grado titulada: “Estudio de la viabilidad del uso de nanopartículas del dióxido de titanio en el tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel laboratorio en la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Octubre - Diciembre 2017”. La finalidad del autor fue evaluar la eficiencia del TiO_2 como catalizador de forma nanoparticulada en el proceso de fotocátalisis heterogénea para remover compuestos fenólicos presente en las aguas residuales domésticas generados en la universidad mencionada. Para la determinación de la remoción se evaluaron los parámetros que influyen en la DQO. Mediante la simulación de una muestra artificial de 1000 mg/L (concentración inicial de fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)) se valoró la concentración de TiO_2 para la aplicación del tratamiento y como resultado de la remoción se obtuvo el 37,68 % trabajado con 150 mg/L de concentración de nanopartículas de TiO_2 con un tiempo de exposición de UV-Vis de tres horas¹¹.

Escobal, Chuquilín-Vallejos y Martínez-Mendoza (2018) desarrollaron el trabajo de investigación titulado “Influencia de la Concentración de TiO_2 y tiempo de residencia en el proceso de fotocátalisis heterogénea como sistema de remoción de Fe^{+2} en aguas ácidas de mina, Cajamarca 2018”, cuya finalidad fue resolver la contaminación de estas aguas con la aplicación de fotocátalisis heterogénea, usando el dióxido de titanio (TiO_2) como semiconductor en concentraciones de 5, 10 y 15 % del volumen del agua a tratar. La variable del estudio fue el tiempo de tratamiento con relación al porcentaje del catalizador que influye directamente y en gran medida en el proceso con un resultado de mayor porcentaje de remoción de iones de Fe^{+2} con el 15% de TiO_2 representando el 75,57 % en el mayor tiempo de tratamiento aplicado a la aguas del drenaje ácido de mina de Cajamarca; siendo factible aplicar el proceso de fotocátalisis para reducir contaminantes del agua y el método de purificación¹².

Travezaño y Valenzuela (2019) publicaron la tesis de grado titulada “Influencia del tiempo y la concentración del contaminante en la degradación de aguas con derrames de aceite por fotocátalisis heterogénea a las condiciones del Valle del Mantaro”. Este valle está ubicado al sur andino del departamento de Junín. El tratamiento se desarrolló objetivamente para determinar la influencia que tiene el tiempo y la concentración en su degradación y se llevó a cabo aplicando la fotocátalisis heterogénea con rango de 1 a 3 horas de tiempo de degradación, con 3 y 5 mL de concentración del contaminante en una muestra simulada con

aceite quemado de un motor de combustión disuelto en 25 L de agua. Se le añadió 2 g/L de TiO_2 , 1 mL/L de H_2O_2 y para estabilizar el pH se utilizó ácido clorhídrico hasta lograr un medio ácido de 4. La muestra durante el procedimiento se expuso a radiación solar de 10 am a 3 pm y para mantener el caudal se utilizó una bomba y un rotámetro de 2 L/min. Durante una hora, los porcentajes de degradación de la materia orgánica fueron de 66,86 % con 3 mL/L de contaminante y 64,78 % con 5 mL/L. Durante tres horas los porcentajes fueron de 84,00 % y 73,18 % de 3 y 5 mL/L respectivamente. Con estos resultados se determinó que el mejor tiempo de degradación fue tres horas y que la concentración del contaminante no es influyente en la proporción de la degradación de la DQO¹³.

Así, en el mismo año Muñoz y Palomino (2019) publicaron la tesis titulada “Influencia de la concentración del TiO_2 y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales del camal por fotocátalisis heterogénea”, con objeto de determinar la influencia entre el tiempo de tratamiento y la concentración del catalizador (TiO_2) reflejado en el porcentaje de reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de la Provincia de Chupaca, ubicado en Huancayo con el método de fotocátalisis heterogénea. Para las pruebas experimentales se estudiaron las variables: concentración de TiO_2 (1, 1.5 y 2 mg/L) y el tiempo de duración (3,4 y 5 horas) aplicada en una muestra sintética de 24 L del agua residual del camal con biftalato de potasio (0,76 g/L). Se utilizó 3 mL/L de H_2O_2 y para manipular el rango de pH y ácido clorhídrico. El primer módulo de experimentación en condiciones de pH 6, cuatro horas y 1,52 mg/L de catalizador (TiO_2) se obtuvo como resultado un porcentaje de reducción de DQO de 86,75 %. El segundo módulo corresponde a la muestra real lo cual se obtuvo como resultado el 36,31 % de reducción en cinco horas. Finalmente, se concluyó que el tiempo sí influye en la reducción de DQO de manera más significativa que la concentración del catalizador¹⁴.

Huanca (2019) publicó la tesis de maestría titulada “Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea”. La investigación trató las aguas residuales de la UNCP ubicada en Huancayo con fotocátalisis heterogénea en un fotorreactor de forma horizontal en una solución de 24 L de la muestra, regulando el pH y añadiendo TiO_2 (1 g/L) y H_2O_2 (1 – 1,5 g/L) por un tiempo de dos y cuatro horas. Se logró el mayor porcentaje de degradación en condiciones de pH 4, 1 g/L de H_2O_2 y

cuatro horas de duración con un valor de 62,75 %, demostrando que hay gran significancia de la interacción del tiempo del tratamiento en la concentración de H₂O₂ respecto al porcentaje de degradación de las aguas residuales de la UNCP, contrario al parámetro del pH, por lo que se llega a la conclusión que el método mencionado es viable¹⁵.

Tolentino, Benites-Alfaro y Cabrera-Carranza (2019) desarrollaron una investigación titulada “Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultravioleta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja - 2017” con el objetivo de determinar la eficiencia del proceso, las condiciones operacionales para el tratamiento y la variación de los parámetros del agua residual del servicio de lavandería en estudio. Se realizaron los tratamientos en dos casos a diferentes condiciones con dióxido de titanio como catalizador y en presencia de luz UV, uno de los casos con presencia de peróxido de hidrógeno. Luego de los procesos aplicados, en los resultados se refleja que hay una eficiencia de 34,21 % respecto al DQO sin presencia de H₂O₂ y una eficiencia mayor del 35,27 % con presencia del agente oxidante, relacionados con la concentración del TiO₂, tiempo de tratamiento, DQO, DBO, pH y el aditivo de oxidación¹⁶.

2.1.3. Antecedentes internacionales

Guarín y Mera (2011) publicaron el artículo titulado “Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol” con el objetivo de aplicar este proceso para determinar la mineralización y degradación del indicador verde bromocresol de los desechos líquidos de laboratorio generados en universidades. La experimentación se llevó a cabo en un reactor tipo Batch suministrando TiO₂ Degussa P-25 con radiación UV artificial ($\lambda = 360$ nm). Según los resultados de los análisis, la mineralización evaluada por DQO fue de 82,5 % y la degradación cuantificada por espectrofotometría UV-visible fue de 84,10 % bajo condiciones óptimas de 260 ppm de TiO₂ y 60 minutos de tiempo de retención. Esta investigación demostró que la fotocatalisis heterogénea puede ser útil para el tratamiento de efluentes con presencia del indicador verde bromocresol¹⁷.

Masabanda, Echegaray-Aveiga y Alegría-Bartolomé (2017) publicaron el artículo de investigación titulado “Control de la contaminación en aguas residuales de curtiembre, mediante fotocatalisis heterogénea con TiO_2 ” con el propósito de estudiar la degradación del cromo (Cr) total de las aguas residuales de la curtiembre ubicada en la provincia del Tungurahua, Ecuador. El desarrollo experimental se realizó en un prototipo de colector cilíndrico parabólico (CCP) y se utilizó dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador con exposición al sol para ser activado. Los resultados muestran la relación entre el catalizador y la luz solar con un resultado de degradación de cromo total de 62,05 % en comparación con las cifras establecidas en el anexo 2 con respecto a los valores permisibles para aguas superficiales en la industria de curtiembre del D.S. N° 003-2002-PRODUCE a pesar de no cumplir con las normas establecidas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) de Ecuador, esto se logró en un corto periodo de tiempo, siempre que exista radiación solar necesaria para la activación del catalizador¹⁸.

Orrantia, Acosta, Salinas, González y Lozoya (2019) publicaron un artículo de investigación titulado “Fotocatalisis heterogénea para la remoción de Antimonio (Sb) en agua utilizando dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador” objetivamente para manipular el método mencionado en aguas industriales. El diseño del sistema fue compuesto por un colector solar tubular plano y un tanque de almacenamiento en flujo continuo a varios tiempos de irradiación solar, manipulando la cantidad del catalizador, el pH y el agente oxidante peróxido de hidrógeno. Se obtuvo como resultado el 74,2 % a pH 4, 1 g de TiO_2 , 10 mL/h de H_2O_2 en el tiempo de diez horas; 86,72 % a pH 4, 3 g de TiO_2 con ocho horas de exposición y 99,54 % a pH 7 con 4 g de TiO_2 expuesto a 20 horas de luz solar de 4 a 11 UV, concluyendo que el mejor resultado se dio a un pH neutro sin agregar el agente oxidante con un mayor tiempo en la remoción de Sb comparado con los límites máximos permisibles de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)¹⁹.

De todos los antecedentes expuestos se han tomado en cuenta algunas referencias para el desarrollo de esta investigación dentro del fundamento teórico explicado en el siguiente ítem.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El uso de recursos hídricos en la agricultura y su contaminación

Según los datos mencionados en el planteamiento del problema, se utiliza el 80 % de agua en el Perú destinada a la actividad agrícola; no obstante, a nivel mundial a finales del siglo XX, se ha empleado un promedio del 70 % y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization of the United Nations) estima que para el año 2030, el porcentaje destinado al riego aumentará un 14 %. Según esas proyecciones, la escasez de agua será cada vez mayor en algunos lugares y regiones, lo que limitará la producción local de alimentos²⁰.

Con referencias de Ongley (1997), la contaminación del agua generada del sector agrícola es considerada como contaminación no puntual o difusa; ya que se dispersa y extiende en los campos, alcanza las capas freáticas y los ríos progresivamente.

En la mayor parte de los países, las prácticas agrícolas y su utilización de la tierra son consideradas como fuentes no localizadas de la contaminación del agua; en su sentido más amplio sus características corresponden a las condiciones hidrológicas donde existen dificultades para su control y medición directa por no ser fáciles de regular²¹. El agua procedente de esta contaminación al ser ingerida a través del consumo directo o indirecto de los productos crudos de tallo bajo o alto sin haber sido tratadas, representa un riesgo para la salud humana, manifestándose en infecciones parasitológicas, víricas y bacterianas.

En consecuencia, surgiría un desbalance entre el agua utilizada en el riego captadas de fuentes naturales y el recurso excedente del mismo. Según Smakhtin, Revenga y Döll (2004) citados por Winpenny *et. al* (2013) esta relación se puede establecer mediante el índice de escasez de agua. Esto supone que, frente a un panorama de escasez se manifiesten graves costos económicos, sociales, ambientales hasta políticos y, por consiguiente; las autoridades nacionales optan por derivar el agua destinada a la agricultura hacia el uso

industrial y urbano dado que posee un mayor valor económico que el de los fines agrícolas.

Por ello es necesario que se tomen medidas para una buena gestión del recurso hídrico, implementando proyectos que asuman la construcción desde represas o embalses hasta canales y tuberías por los que el agua pueda ser transportada y utilizada cuando se produzca la demanda.

Y en estas circunstancias, con la reutilización del agua se ofrecería un beneficio paritario para las zonas urbanas, los agricultores y el medio ambiente. El reuso de agua tratada es una solución costo-eficaz que puede minimizar los efectos negativos frente a la escasez de agua, que se demuestra con el crecimiento de los sistemas de reutilización del agua en diversas partes del mundo.

Al utilizar agua tratada en la agricultura se conserva agua dulce para un fin de mayor valor económico y social y, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro del servicio de agua con calidad. Este intercambio deja abierta la posibilidad de beneficios ambientales, al permitir que las plantas asimilen los nutrientes de las aguas residuales reduciendo la contaminación aguas abajo.

Es así que la gestión del recurso hídrico de fuentes naturales (especialmente cuando se trabaja de manera transversal a la gestión adecuada del suelo) resulta ser un factor esencial para elevar y maximizar la productividad agrícola tanto para el consumo directo como para el comercio, contribuyendo con el desarrollo económico rural.

Por consiguiente, el incremento de la producción agrícola puede dar lugar a obtener mayores beneficios por cada unidad de agua tomada de fuentes naturales, realizando cambios en la utilización del agua y que exigirían respuestas de los gobiernos locales, regionales y nacionales para asegurar la sostenibilidad de la gestión de los recursos terrestres e hídricos²².

2.2.2. Normativa Nacional Ambiental

En la Constitución Política del Perú de 1993, según el artículo 2, numeral 22 se establece que toda persona tiene como derecho fundamental el gozar de un

ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; de esta forma se promulgaron leyes, decretos, reglamentos, disposiciones, entre otros en materia ambiental, de los cuales los más importantes son:

a) Ley General del Ambiente, Ley N° 28611

La presente Ley N° 28611, aprobada en el año 2005, es la norma ordenadora que establece los principios y normas del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú para asegurar el artículo 2, numeral 22 de nuestra Carta Magna, así como el cumplimiento de la contribución a una efectiva gestión ambiental y protección del medio ambiente con el objeto de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Dentro lo más importante de esta ley relacionado con la presente investigación; está el artículo 31° donde se mencionan los estándares de calidad ambiental, en adelante ECA, que en particular es una medida que establece el nivel de concentración de contaminantes ya sean elementos o sustancias así como parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes tanto en el agua, como el aire y suelo dentro de su cuerpo receptor que no se considere como un riesgo significativo para la salud humana ni al ambiente determinados por límites máximos permisibles. El artículo mencionado va de la mano con el artículo 121° del vertimiento de aguas residuales con respecto a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, la emisión de una autorización previo para su descarga de aguas residuales domésticas, industriales o cualquier actividad desarrollada de personas naturales o jurídicas, siempre y cuando este vertimiento no tenga como consecuencia el deterioro de la calidad de las aguas ni la afectación de reutilización para otros fines de acuerdo a lo establecido en los ECAS correspondientes vigentes.

Esta ley presenta también la manera de alternativa ante los posibles sucesos de acuerdo al artículo 31° y 121°, en el artículo 122° del tratamiento de residuos líquidos. En el inciso 122.3, establece que toda empresa o entidad que desarrolle actividades extractivas, productivas, de comercio u otras que generen aguas residuales o servidas, deberán ser responsables de su tratamiento con el fin de reducir los niveles de

contaminación comparados con los niveles de los límites máximos permisibles (en adelante LMP), los ECA, y otros que estén establecidos dentro de los instrumentos de gestión ambiental de acuerdo a la normativa legal vigente²³.

b) Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338

Esta ley, aprobada el 30 de marzo del 2009 se enfoca en regular el uso y la gestión de los recursos hídricos, abarca el agua superficial, subterránea, continental y sus bienes asociados; también se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulta aplicable. En la presente ley se establecen 11 principios para la gestión y su ente rector es la Autoridad Nacional del Agua (en adelante ANA) responsabilizándose así del funcionamiento del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos dentro de los establecido en la Ley.

Al igual que en la Ley 28611, la Ley de los Recursos Hídricos hace referencia al tema de los vertimientos de agua residual y su autorización de vertimientos en sus artículos 79° y 80°, en donde la ANA autoriza la descarga del agua residual previamente tratada en un cuerpo natural de agua continental o marina en cumplimiento con los ECA de agua y LMP; con sus prohibiciones del vertimiento directo sin previa autorización.

Indica que se deben disponer medidas adicionales en caso que el vertimiento con el agua residual tratada pudiese afectar la vida acuática del cuerpo receptor que disminuyan el riesgo de la calidad del agua, incluyendo las tecnologías superiores pudiendo suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. Para obtener estas autorizaciones se presentan instrumentos ambientales pertinentes que deben ser aprobados para brindarle la autorización con un plazo determinado y prorrogable con el tiempo de la actividad principal en la que se use el recurso hídrico²⁴.

- c) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para agua

La presente norma fue publicada oficialmente el 07 de junio 2017 y tiene por objeto recopilar las disposiciones en relación con el D.S. N° 002-2008-MINAM, el D.S N° 023-2009-MINAM y el D.S. N° 015-2015-MINAM, donde se aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Estos ECAs indican los niveles máximos de las concentraciones de elementos y sustancias que de ser superiores puedan representar una afectación en cuerpos receptores naturales de agua repercutiendo significativamente en el ambiente y a la salud humana. Son regulados según la condición del cuerpo receptor²⁵.

Si bien es cierto la agricultura se clasifica como una contaminación difusa de los recursos hídricos ante los sucesos planteados frente a esta problemática se tiene como cuerpo natural receptor al Río Sigwas el cual pertenece a la cuenca Colca-Sigwas-Chivay.

Este río se vería más afectado a futuro por la infiltración de aguas residuales subterráneas a su cauce por el exceso de riego por encima del módulo establecido en la Irrigación de Pampa de Majes, también por el vertimiento directo por escorrentía de zonas de cultivos aledaño a su margen.

Por esta razón, en la presente investigación nos basaremos en los ECAS de Categoría 1- A3 y Categoría 3, lo cual se puede observar en el presente decreto anexo (ver Anexo 3).

2.2.3. Actividad Agrícola y uso de fertilizantes

En lo expuesto por Rosset y Benjamin (1994) durante la llamada “Revolución Verde” se trabajaba bajo un sistema de producción intensiva basada en el monocultivo ocasionando la degradación del suelo desde su erosión, salinidad, acidez por su laboreo excesivo y además por la aplicación de pesticidas y fertilizantes. Como consecuencia, disminuye el rendimiento agrícola y por ende se genera una pérdida de la capacidad productiva²⁶.

Para la FAO (2002), actualmente en los países en desarrollo, la mayor parte de la agricultura es de pequeña escala formando parte de la economía rural en un nuevo sistema de agricultura sostenible donde la actividad agrícola tiene como objetivos principales: el suministro de cantidades necesarias de alimentos a la población y el proveer y generar un ingreso propio sustentable²⁷.

Por lo tanto, Ongley (1997) indica que para la producción agrícola la presencia de nutrientes en las plantas es esencial al ser componentes vitales desde la siembra y cosecha, lo que ayuda a obtener productos alimenticios de mejor calidad. De tal forma, estos nutrientes son suministrados a través de fertilizantes con un manejo inadecuado y excesivo lo que provoca problemas ambientales como el agotamiento de la capa fértil del suelo y a través de esta, grandes cantidades de nutrientes se pierden del cultivo hacia el suelo pasando hacia las capas freáticas; así como la desertificación, salinización, problemas de anegamiento, etc., que deteriora la superficie regada²⁸.

Según la FAO (2002), los fertilizantes son aplicados para proveer los nutrientes faltantes del suelo y así poder incrementar el rendimiento de los cultivos, incluso hasta triplicarse.

Para analizar la eficiencia del fertilizante sobre un cultivo particular, se agrega cantidades diferentes en parcelas adyacentes y se compara la respuesta del rendimiento de los otros cultivos²⁹.

Como se expone anteriormente, la contaminación agrícola se clasifica como difusa, donde los contaminantes han de desplazarse por la superficie del cultivo o se penetran por escorrentía del agua de lluvia. Logran infiltrarse hasta las aguas subterráneas, lagos, en ríos como sedimentos o cargas contaminantes transportadas hasta los océanos.

En la agricultura, los fertilizantes más utilizados contienen compuestos nitrogenados con iones nitratos y su demanda es creciente en los cultivos.

Así mismo, Ongley (1994) refiere que de acuerdo a su utilización se genera un efecto ambiental de relevancia como lo es la degradación de los recursos hídricos aguas abajo, por consecuencia de la acumulación de sales, productos agroquímicos y lixiviados tóxicos. La salinización es un fenómeno que afecta mucho más la sostenibilidad del riego que la salinización en sí. Letey et al., citado por Ongley expone que se ha registrado que los oligoelementos como el Mo, Se y As presentes en el agua procedentes de los drenajes agrícolas también

pueden provocar contaminación lo cual amenazan la eficiencia del riego en proyectos³⁰.

2.2.4. Nitratos

Para Pacheco y Cabrera (2003) el nitrato es un anión con peso molecular de 62 g/mol y representa la forma más estable del nitrógeno termodinámicamente combinado en sistemas acuosos o terrestres oxigenados, de esa forma los compuestos nitrogenados tienden a ser convertidos a nitratos en estos medios³¹.

Al ser altamente soluble y tener establecido un límite de concentración de toxicidad definido, representa un riesgo para la salud si sobrepasa lo permitido, al poder ser absorbidos directa o indirectamente de las fuentes contaminantes.

Los iones nitratos, por sí solos, en el adulto pueden ser poco perjudiciales ya que son eliminados por su organismo; sin embargo, en niños a concentraciones elevadas pueden ser causantes de la enfermedad de niño azul o metahemoglobinemia.

La toxicidad se torna severa cuando proviene de la conversión de nitratos a nitritos por una posible formación de nitrocompuestos como las nitrosaminas y nitrosamidas, considerándose como cancerígenos.

2.2.5. Métodos para eliminación de nitratos en agua

Kapoor y Viraraghavan (1997) refieren que los tratamientos convencionales como la filtración o el ablandamiento no son los más adecuados para la eliminación de nitratos debido a que por su estabilidad, su alta solubilidad en agua y el potencial bajo que poseen para la coprecipitación o adsorción resultarían poco efectivos³².

Sin embargo, los métodos físico-químicos permiten eliminar efectivamente los nitratos en aguas contaminadas a un menor coste, entre estos métodos tenemos:

Tabla 1. Métodos fisicoquímicos para eliminación de nitratos

Método	Descripción	Inconvenientes
Intercambio iónico	Consiste en el intercambio aniónico a través de columnas donde el anión nitrato es intercambiado por aniones cloruro y bicarbonato de la resina.	- Asociado a la regeneración de la resina.
Ósmosis inversa	Consiste en el paso a presión del disolvente en sentido inverso semipermeable, dejando que el nitrato y otras especies iónicas queden en el otro lado para ser eliminados.	- Relacionado con el deterioro de la membrana, ensuciamiento de la misma afectada por variaciones del pH del agua, exposición al cloro. - Presión empleada.
Electrodialisis	Similar a la ósmosis inversa. Se produce la transferencia de iones por intercambio iónico por medio de una membrana semipermanente con la aplicación de una corriente eléctrica.	- Disminución de la versatilidad de la membrana por ser específica para cationes y aniones.
Desnitrificación biológica	Se produce en condiciones anóxicas (sin oxigenación) con bacterias heterótrofas como autótrofas donde el nitrato es reducido hasta nitrógeno elemental mediante una serie de etapas. Se utilizan reactores de lecho fluidizado y fijo los cuales requieren vigilancia en el control del proceso.	-Formación de productos intermedios como: nitritos, óxidos nítricos y óxidos nitrosos. - Trabajar con bacterias autótrofas requiere mayor tiempo y volumen lo que incrementa el costo. - A bajas temperaturas, reduce la velocidad de desmitificación. - Se necesita un post-tratamiento por la presencia de bacterias
Desnitrificación química	Proceso químico que emplea hidróxido de hierro en presencia de un catalizador de cobre.	- Alta relación de hierro-nitrato por lo cual aplicarlo a escala industrial genera un alto costo. Producción de fangos con altos contenidos en hierro.

Reducción catalítica	<p>Se eliminan nitratos y nitritos mediante reacciones de reducción-oxidación donde se utiliza un agente reductor y emplean un catalizador basados en materiales nobles metálicos para alcanzar una selectividad alta del producto no tóxico con un soporte como sílice, alúmina, dióxido de titanio, carbón activado.</p>	- No existen plantas industriales que apliquen este tratamiento.
----------------------	--	--

Nota: Adaptada de Kapoor, 1997. Elaboración propia

2.2.6. Procedimiento de Oxidación Avanzada

Gómez (2000) citado por Garcés, Mejía-Franco y Santamaría-Arango (2004) indica que los procesos de oxidación avanzada, en adelante POAs, son una de las tecnologías que están introduciéndose en el tratamiento de aguas contaminadas procedentes de las industrias agroquímicas, textiles, de pinturas y afines³³.

Los POAs son procesos que mediante la oxidación logran producir cambios en la estructura química de los contaminantes. Para Glaze y sus colaboradores (1987), citados por Domènech, Jardim y Litter (2001) los definieron como «procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas como el radical hidroxilo (OH-)». Este radical se genera por medios fotoquímicos incluso con radiación solar o con otras fuentes de energía y posee alto poder de oxidación de materia orgánica³⁴.

Estos procesos tecnológicos están clasificados de la siguiente manera:

Tabla 2. Clasificación de los procesos de oxidación avanzada

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none"> • Ozonización en medio alcalino (O_3/OH^-) • Ozonización con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2) • Procesos Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) y relacionados • Oxidación electroquímica • Radiólisis y tratamiento con haces de electrones • Plasma no térmico • Descarga electrohidráulica - Ultrasonido 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación en agua sub/y supercrítica • Procesos fotoquímicos • Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV) • UV/peróxido de hidrógeno • UV/O_3 • Foto-Fenton y relacionadas • Fotocatálisis heterogénea

Nota: Tomada de Domènech, Jardim y Litter, 2001.

2.2.7. Fotocatálisis heterogénea con dióxido de titanio

Los autores mencionados en el sub ítem anterior, indican que la fotocatálisis se da cuando el fotocatalizador absorbe directa o indirectamente la energía radiante ya sea visible o UV. En el momento en que el catalizador se encuentra excitado comienza a producir las reacciones de óxido-reducción con la solución liberando radicales OH^- que actúan como agentes oxidantes destruyendo o mineralizando los contaminantes sin que el catalizador sea afectado por cambios químicos.

La fuerza con la que se trabaja entre el proceso de transferencia electrónica es resultado de la diferencia de energía del nivel del semiconductor y el potencial de óxido-reducción de las especies absorbidas.

La Figura 1 representa los procesos que ocurren en la interfaz:

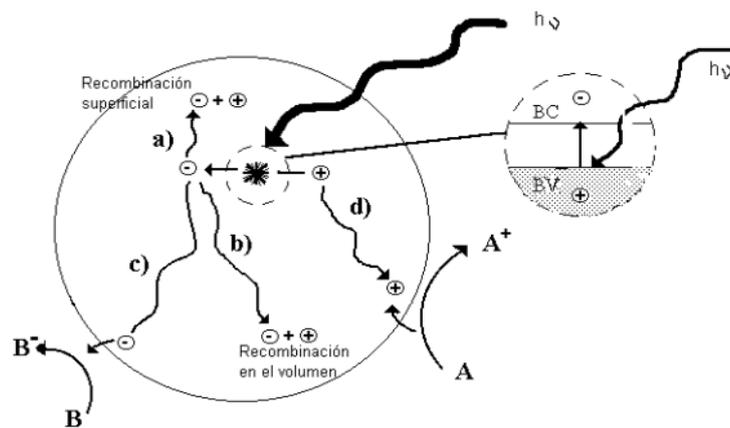


Figura 1. Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor-electrolito bajo iluminación. Tomada de «Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea» por Domènech, Jardim y Litter, 2001.

Donde los huecos (h^+) de la banda de valencia provocan la oxidación, mientras que los electrones (e^-) presentes en la banda de conducción dan lugar a la reacción de reducción de especies redox absorbidas en el semiconductor y bajo iluminación³⁵.

En el libro de Blanco, Fernández-Ibáñez y Malato-Rodríguez (2006), establece que para la combinación entre la catálisis y la fotoquímica es necesario que haya el efecto de fotocatálisis. Esto supone que la luz solar en conjunto con el catalizador TiO_2 activa la aceleración de la reacción química.

Este mecanismo, el fotorreactor es irradiado con fotones considerando que la energía depende de la longitud de la onda de luz y es mayor al ancho de brecha:

$$h\nu > E_g$$

Donde:

$H\nu$: energía igual o superior al valor de la energía de banda prohibida o “bandgap”.

E_g : energía mínima necesaria para convertir el material en un conductor.

Los fotones al ser absorbidos por provocan el salto de electrones de la BV a la BC generando los pares hueco/electrón (h^+/e^-)³⁶.

- Parámetros operacionales

A continuación, se mencionan los parámetros de operación que resultan determinantes en la influencia tanto cuantitativa como cualitativa en la eficiencia del proceso:

pH. Torres (2013) menciona que la eficiencia del proceso de fotocátalisis se muestra favorable en medio ácido ($3 \leq \text{pH} \leq 5$) ya que afecta a las propiedades superficiales del catalizador y a la forma química del compuesto a degradar³⁷, y para Blanco *et. al* (2006) esto se manifiesta en la tendencia a la floculación del catalizador y las alteraciones de la velocidad de degradación.

Temperatura. Blanco *et. al* (2006) si hay un variación en la temperatura la velocidad de las reacciones fotocatalíticas no serían afectadas significativamente, por lo que se puede desarrollar a temperaturas medias o temperatura ambiente³⁸.

Catalizador. Ashcroft y Mermin (1976) mencionan que el proceso en presencia de un catalizador mejora cuando este posee una distribución de tamaño uniforme de las partículas de forma esférica convenientemente, una mayor área superficial y la ausencia de porosidad interna³⁹.

Tiempo. La larga duración del tratamiento puede influir en el tiempo de degradación de un contaminante o alterar el proceso de manera negativa en las reacciones químicas que se produzcan.

Agitación. Para Coronel (2014) la agitación es una operación unitaria muy importante en diseños que utilizan reactores Batch por el contacto que se da con los reactivos mejorando la transferencia de calor en la reacción. Esta operación busca minimizar puntos muertos dentro del recipiente con la selección adecuada de la potencia del agitador que proporciona el correcto mezclado dentro del fotorreactor⁴⁰.

Luz Solar. En procesos de fotocátalisis, generalmente se usan catalizadores que deben ser activados en presencia de radiaciones solares para mejorar e incrementar la velocidad de las reacciones.

2.2.8. Semiconductores

Domènech, Jardim y Litter (2001) mencionan que un semiconductor puede ser un fotocatalizador si durante el proceso no cambia su estructura química y si es capaz de formar los pares hueco/electrón (h^+/e^-)⁴¹.

Los semiconductores presentan un potencial oxidante en las bandas de valencia de +1 a +3.5 V y su poder reductor en la banda de conducción de +0.5 a -1.5 V.

La banda de valencia (BV): ocupada por aquellos electrones de valencia que se posicionan en el último nivel energético de los átomos formando enlaces atómicos, mas no intervienen en la conducción eléctrica.

La banda de conducción (BC): ocupada por electrones vacíos y que pueden desplazarse fácilmente, responsables de la conducción de la corriente eléctrica.

De acuerdo a Herrmann (2005), citado por Churata (2017), existen muchos materiales que pueden actuar como semiconductores para la fotocatalisis y llevar a cabo reacciones fotoquímicas tales como los calcogenuros (óxidos y sulfuros) dentro de ellos: dióxido de titanio (TiO_2), sulfuro de cadmio (CdS), óxido de zinc (ZnO), óxido de hierro, entre otros⁴².

Los materiales mencionados son asequibles económicamente y fueron investigados en la degradación de contaminantes, siendo el TiO_2 el que muestra mejores resultados y el catalizador de referencia para aplicaciones de fotocatalisis.

2.2.9. Dióxido de titanio

Por la investigación previa de varios semiconductores aplicados en la fotocatalisis, Lisbona (2016) refiere que el dióxido de titanio es el óxido metálico utilizado más estudiado debido a su estabilidad fotoquímica frente a la corrosión a y su inocuidad⁴³. Según Banerjee *et. al* (2014) el bandgap de energía de 3.2 eV que puede ser excitado con luz UV de $\lambda < 387$ nm, la cual

puede ser aportada por la radiación solar⁴⁴, sumando a esto el hecho de ser un material no tóxico, asequible comercialmente y económico.

De acuerdo a Blanco *et al.* (2001) el dióxido de titanio se presenta en tres formas cristalinas: anatasa, rutilo y brookita, siendo las dos primeras formas más efectivas en el tratamiento de aguas residuales⁴⁵.

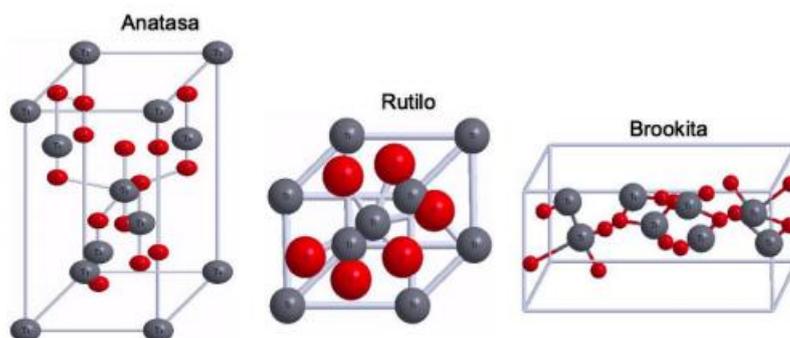


Figura 2. Estructuras del dióxido de titanio. Las esferas más grandes representan los átomos de oxígeno; los pequeños son los átomos de titanio. Tomada de «Influencia de la irradiación microondas/ultrasonido en la síntesis sol-gel de nano partículas de dióxido de titanio para su aplicación en fotocatalisis» por Zarazua, Paredes-Carrera, Sánchez-Ochoa, Avendáño-Gómez y Flores-Valle, 2017.

El rendimiento en la oxidación fotocatalítica de compuestos orgánicos se incrementa cuando se presenta un menor tamaño de partícula en forma nano y hay una mayor absorción de rayos UV para su activación logrando una mejor eficiencia fotocatalítica.

2.3. Definición de términos básicos

- Dióxido de titanio. Para Elkoro (2013) es uno de los catalizadores más empleados en los estudios de fotocatalisis por su alta transparencia, alta estabilidad en presencia de soluciones acuosas de electrolitos, superhidrofília, bajo costo y disponibilidad comercial⁴⁶.
- Fotocatalisis. Ohama y Van Gemert (2011) explican que la fotocatalisis es un proceso donde interviene una sustancia semiconductor que químicamente se activa por irradiación de luz dando como resultado reacciones de óxido – reducción⁴⁷.

- Fotocatálisis heterogénea. Según Fernández (2010) es el uso de un sólido semiconductor que forma una suspensión estable bajo irradiación para estimular una reacción en la interfase sólido/ líquido o sólido/ gas⁴⁸.
- Radiación solar. Según definición de Romero (2009) “la radiación solar es una corriente de energía que el sol irradia uniformemente en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas o cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y en un tiempo determinado”⁴⁹.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación:

En este trabajo de investigación se aplica el “método científico”, basado en Pardinas citado por Tamayo (2003), porque se observaron y se formularon procedimientos para dar una posible solución al planteamiento del problema, al cual se aplicó el procedimiento experimental para la comprobación de la hipótesis de la investigación a través del análisis y discusión de los resultados⁵⁰.

3.1.2. Tipo de la investigación

La presente investigación es “aplicada” ya que se ha pretendido dar una solución al planteamiento del problema y de tipo “experimental”. Tamayo (2003), se refiere a este tipo de investigación por tener variables experimentales que fueron observadas en condiciones controladas con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produjo una situación o acontecimiento particular; en consecuencia, fue aplicable en el sistema de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar⁵¹.

3.1.3. Alcance de la investigación

Esta investigación tiene un alcance “correlacional” ya que; en palabras de Hernández (2014) se evalúa el grado de asociación de las variables independientes después de cuantificarlas, analizar y establecer el grado de vinculación entre ellas en relación con la causalidad (primero la causa o independiente y luego el efecto o dependiente) del tratamiento fotocatalítico heterogéneo con dióxido de titanio y luz solar^{51,52}.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño factorial

Para Montgomery (2005), un experimento diseñado está definido como una “prueba o serie de pruebas en los cuales se efectúan cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en las respuestas de salida”⁵³.

En la presente investigación se ha seleccionado y desarrollado bajo el diseño factorial de 2 niveles y 3 factores (variables independientes) con réplicas en el punto central; entonces, la fórmula estará definida por:

$$N = 2^k + 3$$

Donde:

N: número de experimentos

k: número de factores a estudiar

Se le adicionan tres réplicas en el punto central para tener un mayor grado de confianza en los resultados, lo cual da un total de 11 pruebas experimentales a realizar.

A continuación, se observa los niveles para el diseño factorial a desarrollar en esta investigación en el sistema de coordenadas tridimensionales:

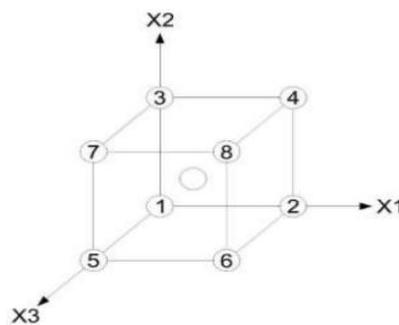


Figura 3. Niveles para un diseño factorial replicado en el punto central. Tomada de «Evaluación del porcentaje de disolución de oro de la lixiviación de sandiosis mediante diseños experimentales» por Huaco (2017). Adaptada de «Diseño y análisis de experimentos» por Montgomery (2004).

Para tal efecto, con valores codificados queda definida de la siguiente manera en la siguiente tabla:

Tabla 3. Matriz con valores de las variables a escala codificada

N° de Pruebas	Valores codificados			Respuesta
1	-	-	-	Y1
2	+	-	-	Yx1
3	-	+	-	Yx2
4	+	+	-	Yx1x2
5	-	-	+	Yx3
6	+	-	+	Yx1x3
7	-	+	+	Yx2x3
8	+	+	+	Yx1x2x3
9 (c)	0	0	0	Y2
10 (c)	0	0	0	Y3
11 (c)	0	0	0	Y4

Nota: k: 3 factores, X1: variable 1, X2: variable 2, X3: variable 3, Y: variable respuesta, +1: nivel superior de la variable, -1: nivel inferior de la variable, 0: punto medio de los niveles de las variables.

Esta Tabla 3 será modificada luego de la realización de las pruebas preliminares donde se determinarán los valores reales con las concentraciones de los parámetros operacionales que modifican a la variable independiente para la experimentación en sí.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de la investigación fue en la cuenca baja del cuerpo receptor natural de agua: Río Sigvas, aguas abajo de la Pampa de Majes (Pedregal Sur) con referencia a la Toma Lateral al Vaso Regulador 4 de la Irrigación Majes, en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, el cual tiene un caudal de 5.2 m³/s.

3.3.2. Muestra

El punto de muestreo en el Río Sigwas fue en la cota 18K E: 0803017 N: 8184815 con una cantidad de 4000 mL como muestra madre. Esta muestra fue de tipo no probabilística o dirigida, recolectada en el punto referencial de muestreo RSigu2 (reconocido por la ANA).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica de recolección de datos empleada

En la recolección de la muestra inicial se ha realizado el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales determinado por la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA de la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI), establecido como un procedimiento estandarizado y técnico para la toma correcta de muestras para su análisis posterior.

Para el análisis químico se usó el método analítico ASTM D 3867- 09 Método de ensayo estándar para nitrato en agua, el cual fue realizado por el laboratorio de análisis químico Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda., en el Parque Industrial de Río Seco, ubicado en el distrito de Cerro Colorado, de la provincia de Arequipa en el departamento de Arequipa.

En el análisis de datos se ha usado la técnica estadística con la finalidad de poder identificar y cuantificar las variables en estudio, los cuales determinan la optimización en la eficiencia del proceso de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar y poder validar su grado de eficiencia del mismo.

De tal manera se usó el programa Excel y los softwares estadísticos Minitab, SPSS Statistics y Statgraphics que permiten realizar análisis estadísticos del diseño factorial seleccionado con lo cual se pudo analizar lo siguiente:

- Las variables significativas que intervienen en el proceso
- La interacción entre las variables
- Los efectos de los factores e interacciones
- El análisis de varianza (ANOVA)
- El modelo matemático representativo del proceso.

Para la prueba de hipótesis se utilizó la prueba F de Fisher, según lo establecido por Ronald Fisher (1924) en su artículo “*Una distribución que produce las funciones de error de varias estadísticas bien conocidas*” utilizando los valores P del análisis de la varianza para la toma de decisiones de acuerdo al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)⁵⁴.

3.4.2. Estrategia de recolección de datos como instrumento

Para la verificación en campo, se ha recolectado información como coordenadas con proyección UTM anotadas en el cuaderno de campo.

Se han tomado anotaciones de las observaciones realizadas in situ, así también los comentarios de actores sociales involucrados para el desarrollo de esta investigación con el fin de tener conocimientos sobre el panorama actual de la situación poblacional y acerca de la problemática como objeto del presente trabajo.

Para la recolección de la muestra se ha realizado ficha de datos para registrar los datos obtenidos del punto de monitoreo. Estos se muestran en el anexo 4 y 5 correspondiente al “Registro de datos en campo” y “Ficha de identificación del punto de monitoreo” respectivamente, extraídos de lo anexado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Adicionalmente, se han llenado y registrado los formatos de cadena de custodia de agua otorgados por el laboratorio de análisis químico Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. para la recepción de muestras (ver anexo 6).

3.4.3. Otros instrumentos utilizados para la recolección de datos

Para la verificación en campo, en ruta y la toma de muestras in situ se ha usado:

- EQUIPOS

- 01 GPS VISTA HCx eTrex (ver anexo 18, sección C.)

- Cámara fotográfica/ dispositivo móvil

- MATERIALES

01 pizarra acrílica blanca 40 x 60 cm
01 plumón para pizarra
04 frascos de vidrio graduado ámbar con tapa rosca de 0.45GL
01 Bolsa de plástico film alveolar 1 m
01 cooler
01 par de guantes de nitrilo
01 Cinta de embalaje para rotular muestras
Etiquetas para rotular
Cuaderno de campo
Fichas de registro, lapiceros

Mencionando que se utilizó los elementos de protección personal de seguridad tales como: casco de seguridad, lentes de seguridad, botas de jebes de seguridad; adicional a ello: chaleco de seguridad, cortavientos y mascarilla de bioseguridad para protección contra el riesgo de contagio frente al COVID-19, respectivamente (ver anexo 7).

Para la ejecución de las pruebas experimentales y su procedimiento para el tratamiento en gabinete se ha usado lo siguiente:

- EQUIPOS

Balanza electrónica de 3 decimales Adventurer™ Balances OHAUS (ver anexo 18, sección A.).
Agitador profesional de placa caliente VWR® STIR (ver anexo 18, sección B.).
Cámara fotográfica/ dispositivo móvil.

- MATERIALES

01 Vaso de precipitado (Beaker) grad. F/Baja de 1000 mL
02 Vaso de precipitado de 250mL
01 Probeta
01 Pipeta de 10 mL
01 Soporte universal Acerado (B: 12x18 cm. A=60 cm.)
01 Pinza para bureta (Simple) Niquelada con nuez
01 Papel filtro/ Filtración rápida (34N) de 50 x 53 cm
01 Lámpara solar LED con sensor 1200mA - 20 LED / 70 lúmenes

Papel indicador de pH (según fue necesario)
20 Frascos de plástico para muestra
01 Cooler
01 Cinta de embalaje para rotular muestras
20 etiquetas para rotular
Lab Journal
06 pares de guantes de látex

- INSUMOS QUÍMICOS

Agua oxigenada 40% 1L
Agua destilada 12 L
Dióxido de titanio ultrafino Degussa P-25 (pigmento) 0.5 kg
Nitrato de calcio 1 kg

Para ello, se ha utilizado los elementos de protección personal a nivel laboratorio y de bioseguridad: lentes de seguridad, guantes de látex, bata de laboratorio, calzado de seguridad y mascarilla de bioseguridad, respectivamente (ver anexo 8).

Por otro parte, se tienen documentos digitales como:

- Informes de monitoreo proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua/ ALA Colca-Siguas-Chivay (ver anexo 9).
- Ruta ilustrado por miembros de la Junta de Usuarios de Pampa de Majes (JUPM), ver anexo 10.
- Fotografías (ver anexo 11).

3.5. Procedimiento experimental

El desarrollo experimental fue guiado por los siguientes 05 pasos y las subsecuentes etapas: 1) toma de muestras, 2) montaje del diseño experimental del sistema piloto; 3) pruebas preliminares para ajuste de concentración de parámetros de operación seleccionados (pH, catalizador, tiempo de tratamiento); 4) identificación de parámetros de medición y 5) experimentación de la degradación por medio del método de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar.

a) Toma de muestra

Para la identificación del punto de muestreo fue necesario hacer el reconocimiento del lugar en el Distrito de Majes y la verificación en campo un día previo a su recolección.

Para eso, se procedió a ir al lugar desde la salida de la Vía Expresa Variante de Uchumayo en Arequipa (19 K E: 0213161; N: 8183271) hacia la carretera 34A, continuando por la Panamericana Sur/Carretera 1S hasta Santa Isabel de Siguan (18K E: 0806599; N: 8191302) hasta llegar a Pedregal aproximadamente en 1 hora y 30 minutos.

En el Pedregal, se tomaron referencias de miembros de la Autoridad Nacional de Majes (AUTODEMA) y de la Junta de Usuarios de Pampa de Majes (JUMP) para identificar el punto de muestreo.

Para la recolección de la muestra se procede a ir por la carretera 1S pasando la fábrica de Gloria, en 15 minutos aprox. Se llegó a la Toma Lateral del Vaso Regulador 2L-VR4 (18K E: 0799657 N: 8186171) a 1 351 m.s.n.m. Se continuó con desvío hacia la izquierda de la Panamericana Sur entrando por la Toma mencionada hasta la coordenada 18K E: 801448 N: 8184473 donde se realizó la verificación en campo y a partir de la cota 18K E: 802682 N: 818402, la ruta es trocha con curvas en pendiente hasta llegar al punto de muestreo RSigu2 (Punto reconocido por la ANA y tomado como referencia) en la cota 18K E: 0803017 N: 8184815 a 1167 m.s.n.m.

Cabe mencionar que para llegar al punto de muestreo el camino fue guiado por miembros de la oficina de la Administración Local del Agua/ Colca-Siguan-Chivay, previa coordinación de manera transversal al monitoreo programado en su representada.

A continuación, para la medición de parámetros de campo se tomó directamente en el cuerpo de agua. Posteriormente, con los equipos de protección personal necesarios y ubicándose en un punto medio de la corriente, se procedió a enjuagar tres veces los frascos ámbar de vidrio para luego tomar la muestra en dirección opuesta al flujo de agua dejando espacio libre (1%) de su capacidad del envase para su preservación. Este procedimiento se desarrolló según lo establecido por el Protocolo Nacional de monitoreo de recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua⁵⁵.

La ruta de acceso al punto de monitoreo se aprecia en el mapa de ubicación anexado en el presente trabajo (ver anexo 12).

b) Montaje del diseño experimental

El sistema fotocatalítico fue diseñado con un reactor tipo Batch que constó de agitación continua de 500 RPM con un agitador magnético (barra) y una placa caliente; en adelante llamado stirrer, sin recirculación del desecho en un proceso aerobio.

Este sistema consiste en colocar encima de la placa magnética un vaso Beaker (elaborado en vidrio) de volumen 1000 mL donde se mezcla la muestra, en el cual se posiciona en la parte superior del vaso una lámpara solar LED con sensor sujetado a una pinza para bureta simple (niquelada con nuez) sostenida en un soporte universal acerado (B= 12x18 cm; A= 60 cm). Esta lámpara cumple la función de colector solar; tiene incorporada un panel solar el cual carga la batería (1200 mAH) durante el día mediante la captación de la energía del sol y la emite en forma de luz LED (70 lúmenes). La agitación o movimiento causado por el stirrer hace que el sensor de movimiento se active manteniendo así la emisión de luz.

En todas las pruebas experimentales se utilizó papel aluminio reflectante para cubrir al fotorreactor y permitir la concentración con mayor intensidad de las radiaciones UV emitidas por la lámpara en su interior, ya que favorece en el aumento de temperatura y en la activación de la superficie del catalizador.

El presente trabajo de investigación desarrolló un montaje para describir el comportamiento de la degradación fotocatalítica de nitratos (NO_3^-) en fase acuosa utilizando como catalizador TiO_2 , a pequeña escala a nivel de laboratorio.



Figura 4. Montaje del diseño experimental para fotocatalisis heterogénea.

c) Pruebas Preliminares

Para la realización del presente trabajo de investigación cuya finalidad es reducir la carga contaminante de nitratos provenientes de los efluentes residuales agrícolas, se ejecutó un análisis previo de las diferentes opciones de tratamiento para el ajuste de la concentración de los parámetros de operación seleccionado para modificar a nuestra variable independiente.

Se simuló una muestra de 1 L de agua destilada con una concentración de nitrato de calcio de 70 ppm (mg/L) y se aplicó el tratamiento a dos pruebas preliminares en una solución estándar de 300 mL, con agitación constante de 500 RPM y duración de 1 hora con incidencia de luz durante todo el proceso.

Tabla 4. Parámetros de operación de pruebas preliminares

Código de Prueba Preliminar	Parámetros operacionales			Acotaciones
	pH	Concentración de catalizador TiO ₂ (ppm)	Peróxido de hidrógeno H ₂ O ₂ (mL/L)	
PP1	6	100	1	-----
PP2	4.5	50	-----	Con papel aluminio reflectante.

Nota: Elaboración propia

Luego de finalizar cada prueba, las muestras fueron filtradas, rotuladas y llevadas hasta el Laboratorio Analíticos del Sur- Arequipa (LAS) el cual está debidamente acreditado por INACAL (ver anexo 17) para ser analizadas y determinar la cantidad de concentración de nitratos (NO₃)⁻ por espectrofotometría de absorción atómica.

Como resultado de estas pruebas analizadas por el laboratorio ALS, se determinó el ajuste de los parámetros operacionales a trabajar los cuales lograron una buena degradación de la concentración del contaminante en la prueba preliminar 2 y que el pH influye en la degradación de esta. Sin embargo, la cantidad de la concentración del catalizador dióxido de titanio de la primera prueba preliminar resulta ser excedente para una buena reacción química y catálisis en sí para lo que, en los experimentos puros, se trabajó con un rango menor al de la prueba preliminar 1 (ver anexo 13).

d) Identificación de parámetros de medición

Para optimizar la degradación fotocatalítica con los resultados de las pruebas preliminares; se seleccionaron los valores reales de los parámetros de operación seleccionados para modificar a nuestra variable independiente, reportadas en la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores reales de variables empleadas en el proceso fotocatalítico

Factor	Niveles		Unidades
	Bajo (-)	Alto (+)	
pH	4	5	
Tiempo de tratamiento	60	120	Minutos
Concentración de catalizador TiO₂	50	70	ppm

Nota: Elaboración propia

Por último, se presenta a continuación la matriz experimental definida con valores codificados y con valores reales para la realización de las pruebas experimentales del tratamiento de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar, como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Matriz de diseño experimental con valores codificados y reales

N° de pruebas	x ₁	x ₂	x ₃	pH	Tiempo de tratamiento (minutos)	Concentración de catalizador TiO ₂ (ppm)	Y Concentración Final de NO ₃ ⁻ (mg/L)
1	-	-	-	4	60	50	--
2	+	-	-	5	60	50	--
3	-	+	-	4	120	50	--
4	+	+	-	5	120	50	--
5	-	-	+	4	60	70	--
6	+	-	+	5	60	70	--
7	-	+	+	4	120	70	--
8	+	+	+	5	120	70	--
9 (c)	0	0	0	4.5	90	60	--
10 (c)	0	0	0	4.5	90	60	--
11 (c)	0	0	0	4.5	90	60	--

Nota: Elaboración propia

Esta Tabla 6 nos muestra la matriz con los valores reales de los parámetros de operación con los que se procederá a realizar las pruebas experimentales aplicando el método de

fotocatálisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar a través del diseño experimental establecido.

e) Desarrollo de pruebas experimentales

El procedimiento descrito a continuación se desarrolló de manera específica para cada prueba experimental de acuerdo a la matriz del diseño experimental, para lo cual se detalla de manera general:

Previamente pesada la cantidad de concentración de catalizador TiO_2 , se procede a medir la cantidad de 300 mL en el vaso de precipitado de 100mL para regular el pH requerido mediante ácido cítrico por medición de gotas con la pipeta. Una vez obtenida la solución, se coloca el beaker en el stirrer añadiendo la cantidad de catalizador mientras se activa la agitación hasta llegar a los 500 RPM de manera constante en todas las pruebas experimentales. A su vez, se enciende la lámpara solar LED cubriendo el montaje experimental con el papel aluminio durante el tiempo de tratamiento establecido (ver anexo 14). Después del término de cada tratamiento se filtra y conserva la muestra en un frasco de plástico debidamente rotulado para mandar a analizar al laboratorio acreditado el cual dará los resultados los cuales tendrán la firma y sello del profesional responsable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados del tratamiento

a) Evaluación de la eficiencia del tratamiento

La muestra madre inicial tiene un valor de concentración [] Inicial de NO_3^- de 65,4 mg/L (ver anexo 15), a partir de esta cantidad se aplica el tratamiento para poder degradar la variable dependiente hasta 50 (mg/L), siendo el límite máximo permisible del ECA.

Tabla 7. Concentración inicial de nitratos de la muestra recolectada

CÓDIGO DE MUESTRAS	Concentración Inicial de NO_3^- (mg/L)
DAS 01	65,4

Nota: Elaboración propia

Obtenidos los resultados de laboratorio (ver anexo 16) tras aplicar el tratamiento de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar y realizar las correcciones necesarias, se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental valorizados en tratamientos avanzados en aguas superficiales para la producción de agua potable basado en la Categoría 1– A3.

Para lo cual se establece la tabla 8 a continuación:

Tabla 8. Matriz de resultados en comparativa con el ECA de agua para nitratos

CÓDIGO DE MUESTRAS	N° de Pruebas	Concentración Inicial de NO₃⁻ (mg/L)	Y Concentración Final de NO₃⁻ (mg/L)	ECA Agua Categoría 1-A3 < 50(mg/L) NO₃⁻ ¿Admisible?
PE1-DAS01	1	65,4	24,8	SÍ
PE2-DAS01	2	65,4	45,8	SÍ
PE3-DAS01	3	65,4	27,8	SÍ
PE4-DAS01	4	65,4	46,7	SÍ
PE5-DAS01	5	65,4	31,1	SÍ
PE6-DAS01	6	65,4	42,6	SÍ
PE7-DAS01	7	65,4	38,1	SÍ
PE8-DAS01	8	65,4	41,5	SÍ
R1-DAS01	9 (c)	65,4	39,2	SÍ
R2-DAS01	10 (c)	65,4	49,2	SÍ
R3-DAS01	11 (c)	65,4	47,4	SÍ

Nota: Elaboración propia

4.1.2. Análisis de la información

Dado que se ha determinado que la carga contaminante de nitratos presentes en efluentes residuales de la agricultura se reduce aplicando el método de fotocatalisis heterogénea utilizando TiO_2 como catalizador y luz solar en Pampa de Majes (Pedregal Sur) del distrito de Majes del departamento de Arequipa, se analiza si el pH, tiempo de tratamiento y la concentración del catalizador (TiO_2) afectan en la adsorción de NO_3^- , el efecto y combinación de estos factores para la degradación de la concentración de NO_3^- , así como las condiciones óptimas de los parámetros operacionales para el tratamiento mencionado.

Para ello, se ha completado la Tabla 6 con los resultados obtenidos en respuesta de Y, detallado en la siguiente tabla:

Tabla 9. Matriz de diseño experimental con resultados de variable respuesta

N° de Pruebas	x1	x2	x3	pH	Tiempo (minutos)	Concentración del catalizador (ppm)	Y Concentración Final de NO_3^- (mg/L)
1	-	-	-	4	60	50	24,8
2	+	-	-	5	60	50	45,8
3	-	+	-	4	120	50	27,8
4	+	+	-	5	120	50	46,7
5	-	-	+	4	60	70	31,1
6	+	-	+	5	60	70	42,6
7	-	+	+	4	120	70	38,1
8	+	+	+	5	120	70	41,5
9	0	0	0	4.5	90	60	39,2
10	0	0	0	4.5	90	60	49,2
11	0	0	0	4.5	90	60	47,4

Nota: Elaboración propia

Según esta Tabla 9; mediante la estadística y cálculos efectuados en Excel junto a los softwares mencionados en el capítulo III se ha determinado los siguientes resultados.

a) Estimación de los efectos de los factores e interacciones

Tabla 10. Efectos estimados para la degradación de NO₃⁻

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	39.5091	+/- 6.62004	
A:pH	13.7	+/- 15.5254	1.0
B:Tiempo	2.45	+/- 15.5254	1.0
C:[Catalizador]	2.05	+/- 15.5254	1.0
AB	-2.55	+/- 15.5254	1.0
AC	-6.25	+/- 15.5254	1.0
BC	0.5	+/- 15.5254	1.0
ABC	-1.5	+/- 15.5254	1.0

Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab.

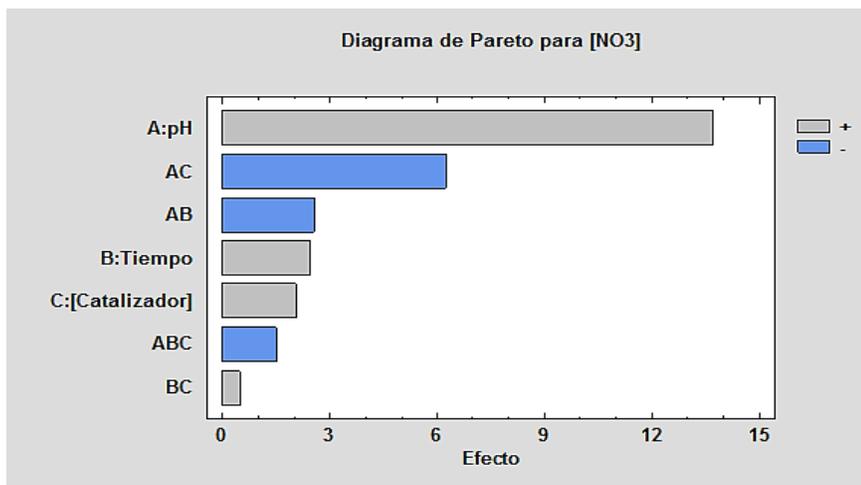
Esta tabla 10 muestra los efectos de los factores que tienen influencia en la variable independiente, esto significa que el factor pH presenta un mayor efecto cuando cambia de un nivel inferior a uno superior y aumenta en 13.70 de la variable medida.

Sin embargo, el factor tiempo y concentración del catalizador no tiene efecto significativo. Cuando el tiempo cambia sus niveles de (-) a (+), la variable respuesta se incrementa en 2.45, asimismo cuando la [catalizador] cambia de (-) a (+) la variable respuesta se incrementa en 2.05.

Este efecto de los factores principales se ve reflejado en la interacción pH, tiempo y [Catalizador] que indica que la variable dependiente medida disminuye en las interacciones AB, AC en 2.55 y 6.25 respectivamente, debemos notar además que la interacción ABC provoca una disminución de 1.5 en la variable de respuesta, por lo que se sugiere ampliar los rangos de estos parámetros operacionales.

Esta interpretación se define mediante gráficas factoriales de la siguiente manera:

Gráfica 1. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



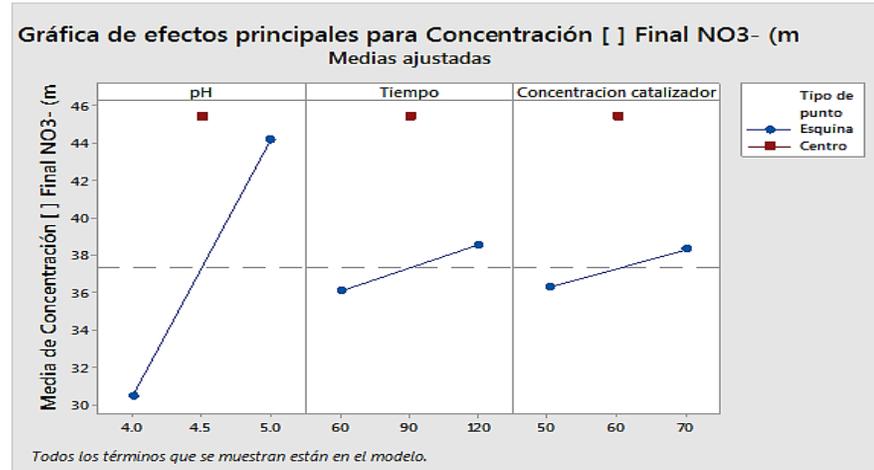
Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab.

Esta gráfica 1. nos refleja que:

A) El efecto A: pH, es el que tiene mayor efecto significativo sobre la variable respuesta y B) el factor interacción AC, AB y ABC tienen efecto significativo e influyen cuando sus niveles cambian a niveles inferiores.

Y la siguiente gráfica 2 a continuación:

Gráfica 2. Diagrama de efectos principales



Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab.

Esta gráfica nos muestra que: A) la combinación de los factores de pH-Tiempo y pH-concentración de TiO₂ incrementan la media de concentración final de NO₃⁻, mientras que B) la interacción entre tiempo y concentración de catalizador no lo incrementan.

De acuerdo a estas gráficas 1 y 2; siendo la variable de respuesta la concentración [] Final de NO₃⁻ (mg/L) aplicado el tratamiento para poder reducir la variable dependiente hasta 50 (mg/L), se puede afirmar que con un nivel de significancia del 5 % que a mayor pH menor adsorción de NO₃⁻ y que las interacciones de pH – concentración de TiO₂ y pH – Tiempo contribuyen negativamente en la concentración media de la variable medida; es decir, que el porcentaje (%) de adsorción se ve influenciada por el menor nivel de los factores de concentración de catalizador y tiempo dado que se tiene menor la concentración [] Final de NO₃⁻ (mg/L).

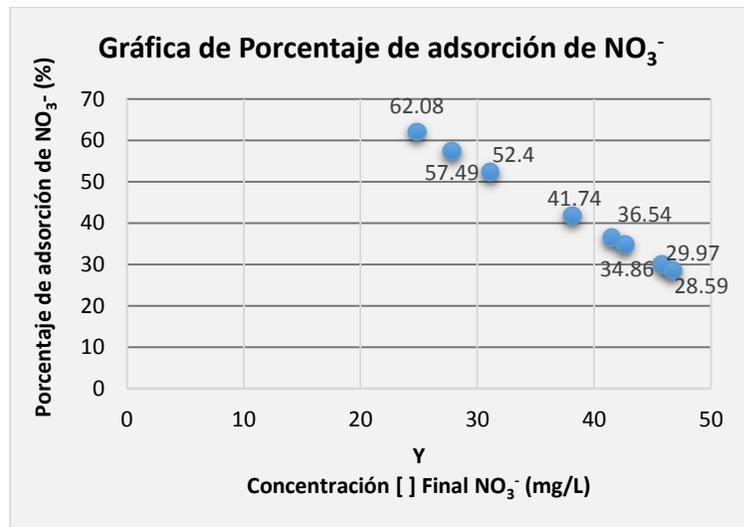
Esto se ve reflejado también en la siguiente Tabla 11 donde se calcula el poder de adsorción de NO₃⁻ y su gráfica 3 respectivamente.

Tabla 11. Porcentaje de adsorción de NO_3^-

Y Concentración Final de NO_3^- (mg/L)	Porcentaje de adsorción de NO_3^- (%)
24,8	62,08
45,8	29,97
27,8	57,49
46,7	28,59
31,1	52,4
42,6	34,86
38,1	41,74
41,5	36,54

Nota: Elaboración propia

Gráfica 3. Porcentaje de adsorción de NO_3^-



Nota: Obtenido mediante cálculos aplicando la fórmula de adsorción en Excel. Elaboración propia

Esta gráfica 3 demuestra que la concentración inicial de nitratos de 65,4 mg/L, se logró reducir en el 62,08% con una concentración final de nitratos de 24,8 mg/L de NO_3^- como resultado mínimo obtenido y en el 28,59 % con una concentración final de nitratos de 46,7 mg/L de NO_3^- como el resultado más alto.

b) Análisis de Varianza

Tabla 12. Análisis de varianza para degradación de NO_3^- (TABLA ANOVA)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:pH	375.38	1	375.38	14.42	0.0629
B:Tiempo	12.005	1	12.005	0.46	0.5672
C:[Catalizador]	8.405	1	8.405	0.32	0.6272
AB	13.005	1	13.005	0.50	0.5530
AC	78.125	1	78.125	3.00	0.2254
BC	0.5	1	0.5	0.02	0.9025
ABC	4.5	1	4.5	0.17	0.7180
Falta de ajuste	143.149	1	143.149	5.50	0.1437
Error puro	52.08	2	26.04		
Total (corr.)	687.149	10			

Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab. Elaboración propia

La tabla 12 muestra que todos los efectos tienen un valor-P mayor que 0.05 determinando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es mayor que 0.05, el modelo puede ser determinado siendo adecuado para los datos observados.

4.1.2.1. Determinación del modelo matemático

Con el análisis de la matriz (Tabla 9) y los factores con sus interacciones mostrada en la tabla 10, se obtiene el modelo matemático con el resumen:

Tabla 13. Resumen del modelo matemático

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5.10294	92,42%	62,10%	*

Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab.

En esta tabla 13, “S” representa a la desviación estándar agrupada y “R-cuad.” nos indica que el 92.42 % de los datos están representados por este modelo.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado, explica el 62.10 % de la variabilidad en [NO₃].

De tal manera se define por la siguiente ecuación del modelo matemático:

Ecuación 1. Ecuación de regresión lineal en unidades codificadas

$\text{Concentración [] Final NO}_3^- \text{ (mg/L)} = -111 + 31.9x_1 - 0.98x_2 + 0.82x_3 + 0.215x_1x_2 - 0.18x_1x_3 + 0.0233x_2x_3 - 0.0050x_1x_2x_3 + 8.10$ <p>Punto central</p>

Siendo x1, x2 y x3 los factores de la investigación (de la variable independiente), donde puede ser reemplazados en rangos inferiores o superiores los cuales reducirá la probabilidad del rango error en el proceso experimental.

Siguiendo los objetivos de esta investigación el cual es la degradación de la concentración de carga contaminante de nitratos aplicando el

proceso fotocatalítico heterogénea, se hace hincapié en una predicción mediante el método del gradiente máximo (ascenso/descenso máximo) para la concentración de NO_3^- (mg/L) representada en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 14. Trayectoria del máximo descenso para la concentración de NO_3^-

pH	Tiempo (minutos)	[Catalizador] (ppm)	Predicción para $[\text{NO}_3^-]$ (mg/L)
4.5	90.0	60.0	39.5091
4.14872	85.2832	58.0	33.7434
3.93158	81.8421	56.0	29.2833
3.74833	78.9496	54.0	24.9246
3.58214	76.492	52.0	20.5056
3.42658	74.4327	50.0	15.9786
3.27853	72.7593	48.0	11.3258
3.13623	71.4679	46.0	6.53792
2.99867	70.5582	44.0	1.60703

Nota: Obtenido del programa estadístico Minitab. Elaboración propia

Esta tabla 14 muestra que, desde el centro de la región experimental se ha desplegado el trayecto de máximo descenso a través del cual la respuesta estimada cambia rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales.

Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si se desea decrementar la concentración [] Final de NO_3^- (mg/L), no

obstante debe considerarse los lineamientos teóricos de los rangos de los parámetros operacionales para llevar a cabo esta predicción al mínimo resultado.

Actualmente, 09 puntos se han generado cambiando [Catalizador] en decrementos de -2.0 ppm.

4.1.2.2. Optimización de las variables

Teniendo en cuenta la predicción de la trayectoria del máximo descenso se realiza la optimización de las variables, para ello con lo analizado se ha inferido que los mejores resultados esperados se den al combinarse las variables y determinen la influencia en la variable respuesta.

Tabla 15. Optimización de parámetros para el tratamiento

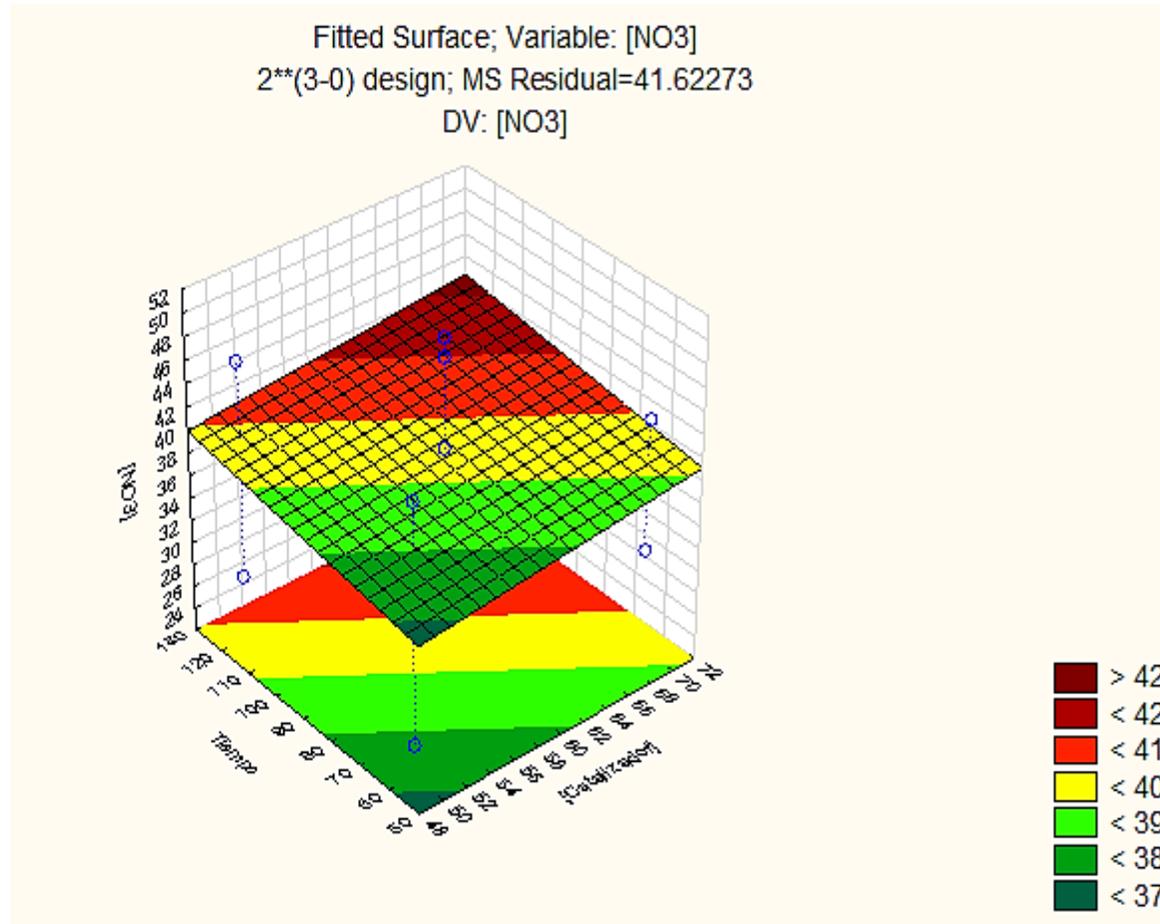
Factor	Bajo (-)	Alto (+)	Óptimo
pH	4	5	4
Tiempo (minutos)	60	120	6
[Catalizador] (ppm)	50	70	50

Nota: Obtenido del programa estadístico Statgraphics.

Esta tabla 15 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza la concentración de nitratos $[\text{NO}_3^-]$ sobre la región indicada.

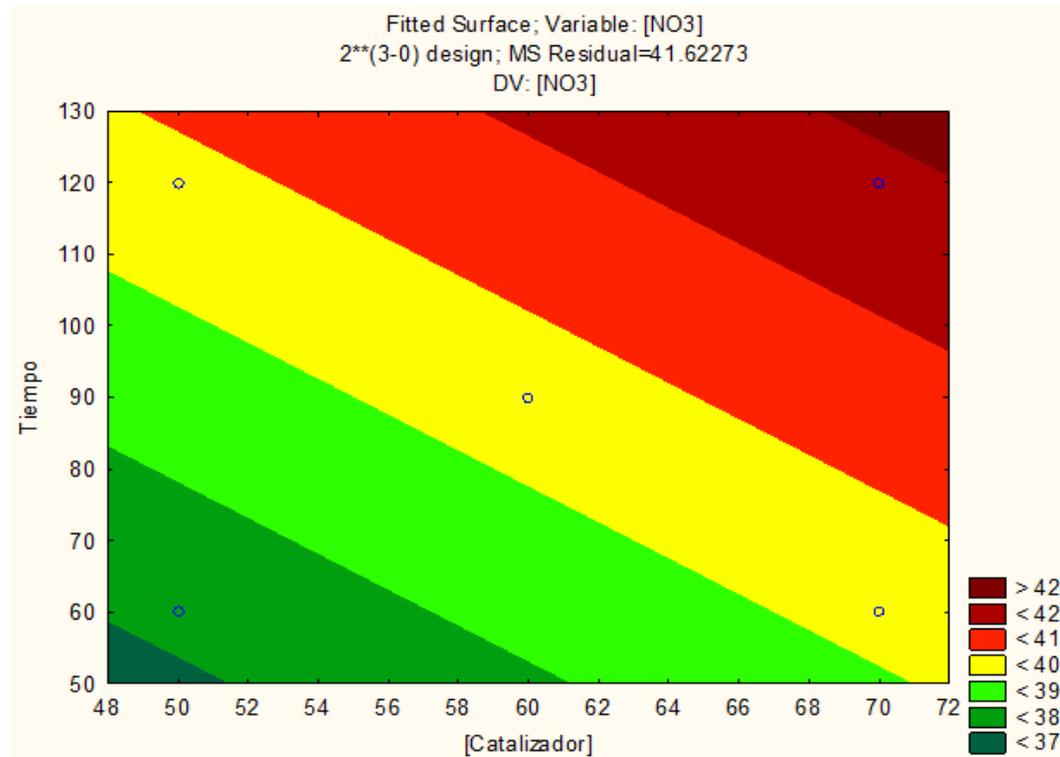
El paquete estadístico lo demuestra en el diagrama de contorno y de superficie de respuesta, determinando lo siguiente:

Gráfica 4. Gráfica de superficie de respuesta para degradación de NO_3^-



Nota: Elaborado en Statgraphics. Esta gráfica de superficie de respuesta donde el color verde intenso representa cuantificación de la variable NO_3^- (ppm) como el menor valor.

Gráfica 5. Gráfica de superficie de contorno para degradación de NO_3^-



Nota: Elaborado en Statgraphics. Esta gráfica de contorno donde el color verde intenso representa cuantificación de la variable NO_3^- (ppm) como el menor valor.

4.2. Prueba de hipótesis

En la presente tesis se investiga la degradación significativa de la carga contaminante de NO_3^- aplicando la fotocatalisis heterogénea utilizando TiO_2 como catalizador y luz solar donde en lo analizado de los efectos y sus interacciones se determina:

Efecto A : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto B : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto C : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto AB : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto AC : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto BC : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Efecto ABC : $H_0 = 0; H_i \neq 0$

Se toman de referencia los valores-P de la Tabla 12 con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para los datos se determina, según la regla de decisiones, no rechazar la hipótesis nula.

Esto se demuestra con el estadístico de prueba F de Fisher que determina la probabilidad de encontrar un resultado igual o alejado del que se demuestra en el estudio de investigación, la cual se acoge a la hipótesis nula, por lo que se entiende que la carga contaminante de nitratos presentes en efluentes residuales de la agricultura no se reduce significativamente con la interacción de los parámetros operacionales aplicando el método de fotocatalisis heterogénea utilizando TiO_2 como catalizador y luz solar en la Pampa de Majes (Pedregal Sur) del distrito de Majes, Arequipa.

4.3. Discusión de resultados

Se encontró que los efluentes residuales agrícolas de la Pampa de Majes aguas abajo del distrito de Majes, producto de la saturación del suelo a consecuencia del sobreuso de agua con una bioacumulación de compuestos nitrogenados a causa del uso de fertilizantes en la producción agrícola a lo largo de años y que drenan subterránea y naturalmente hacia el Río

Siguas, presentaron una concentración inicial de carga contaminante de nitratos (NO_3^-) un valor de 65,4 mg/L de NO_3^- .

El resultado de la muestra inicial comparado con los ECA de agua en la Categoría 3 de aguas superficiales para riego de vegetales y bebidas de animales no sobrepasa el límite máximo permisible de acuerdo a lo establecido para el parámetro nitratos; sin embargo, esta muestra sí resulta ser aplicable a darle un tratamiento a estas aguas para ser destinadas a la producción de agua potable para reuso poblacional, ya que la filtración de estas a futuro generarán un desborde mayor de las laderas contiguas al Valle de Siguan por los derrumbes que actualmente son un evento geológico en alerta y en consecuencia, habrá una mayor filtración con concentraciones altas de la carga contaminante al cuerpo natural de agua, como lo es el río Siguan.

Por lo tanto, este resultado fue comparado con el ECA de Agua en la Categoría 1- A3 para iniciar el tratamiento hasta alcanzar minimizar la concentración inicial hasta el límite máximo permisible de acuerdo al parámetro fisicoquímico en estudio.

En el proceso de oxidación avanzada de fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar, se logró reducir el 62,08 % con una concentración final de 24,8 mg/L de NO_3^- como resultado mínimo obtenido con un valor de pH 4, concentración de catalizador TiO_2 de 60 mg/L (ppm) en un tiempo de tratamiento de 60 minutos y el 28,59 % con una concentración final de 46,7 mg/L de NO_3^- como el resultado más alto de las pruebas experimentales obtenido con un valor de pH 5, y la concentración de catalizador TiO_2 de 50 mg/L (ppm) en un tiempo de tratamiento de 120 minutos. Los resultados finales obtenidos se contrastan con la hipótesis nula planteada inicialmente.

El análisis de resultados determinó, en el diagrama de Pareto, que el factor A: pH y su efecto en la degradación del NO_3^- en el rango de 4 a 5 fue influyente, ya que esos valores se encuentran por debajo del punto isoeléctrico del catalizador TiO_2 (pH = 6.5), lo que se debe a que a valores bajo este punto el TiO_2 se carga positivamente, lo que conlleva a una buena interacción favorable entre la superficie de contacto del TiO_2 y el NO_3^- ; por lo tanto, el pH es una variable a tener en cuenta en la degradación fotocatalítica, lo que contradice a la discusión de resultados de la investigación de Huanca (2019) con respecto al pH.

En cuanto a la concentración del TiO_2 a utilizarse, los rangos de las concentraciones en los antecedentes de la investigación varían desde 1 g/L hasta cientos dependiendo del

contaminante a tratar. De la optimización de parámetros óptimos se observó que 50 mg/L (0.05 g/L) es suficiente para alcanzar un mejor resultado de degradación del NO_3^- debido a que a concentraciones muy superiores se produce un efecto de apantallamiento lo que provoca la disminución de la velocidad de la reacción química por la excesiva opacidad de la disolución que impide que el catalizador presente en la parte más interna del reactor se ilumine y se active.

Otro aspecto a considerar fue el tiempo de tratamiento: como resultado de los ensayos se obtuvo que para la degradación catalítica óptima el mejor tiempo de tratamiento fue 60 minutos (1 hora) entre los rangos escogidos de 60 a 120 minutos, este último tiempo tomado como referencia en lo empleado en el estudio de Machaca y Yana (2017). Esto sucede porque mientras más transcurre el tiempo se afectan las propiedades del catalizador causando floculación, por lo que, en esta variable se coincide con los resultados de la investigación de Masabanda, Echegaray-Aveiga y Alegría-Bartolomé (2017) donde se demuestra que se puede reducir el porcentaje de la concentración de un contaminante en un periodo corto de duración siempre y cuando se realice el tratamiento con la presencia constante de radiación solar.

Respecto a la presencia de luz solar y la agitación fueron parámetros constantes siendo la primera, crucial para la activación del catalizador y la segunda, para la aceleración de la reacción química; donde el hidrógeno presente en la solución es el agente reductor y el agente oxidante es la formación de hidroxilos como producto de la agitación en presencia de oxígeno, lo cual favorecen a la degradación del NO_3^- . Anteriormente, tomando en cuenta el estudio realizado por Travezaño y Valenzuela (2019) donde utilizaron 1 mL/L de peróxido de hidrógeno como agente oxidante, se añadió a la primera prueba preliminar determinando después de los resultados que no influye en la degradación de NO_3^- , por lo que se optó a no utilizarlo en el desarrollo experimental por el mismo hecho de que pueda haber interferencia en la adsorción formándose subproductos incluso aún más contaminantes.

Así mismo, la velocidad de la reacción se incrementa al presentarse una mayor superficie de contacto en la disolución. Cabe mencionar que la velocidad de la reacción aumentó también debido a la concentración de temperatura captada de los lúmenes emitidos por la lámpara solar LED (colector solar) en el reactor Batch que fue recubierto por el papel aluminio reflectante.

CONCLUSIONES

1. La carga contaminante de nitratos con la aplicación del proceso de oxidación avanzada de fotocátalisis heterogénea empleando dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador y luz solar en los efluentes residuales agrícolas con una concentración inicial de nitratos de 65,4 mg/L, se logró reducir en el 62,08% con una concentración final de nitratos de 24,8 mg/L de NO_3^- como resultado mínimo obtenido y en el 28,59 % con una concentración final de nitratos de 46,7 mg/L de NO_3^- como el resultado más alto, lo cual determina que no hay degradación significativa de nitratos aceptando la hipótesis nula para la presente investigación.
2. El tratamiento permite una disminución de la carga contaminante de una manera no significativa, no obstante, sí logra reducirla por debajo del ECA de agua Categoría 1 A-3.
3. Se determinó el modelo matemático para el diseño factorial desarrollado en el tratamiento de fotocátalisis heterogénea utilizando como catalizador (TiO_2) y luz solar, donde el 92.42 % de los datos están representados por un modelo lineal, el cual representa una mejor viabilidad y flexibilidad por su amplia utilización en industrias resolviendo problemas relacionados con planeación y temas presupuestales.
4. Los parámetros óptimos para la realización del diseño factorial para la degradación fotocatalítica de la presente investigación fueron: pH= 4, con una concentración de catalizador del dióxido de titanio de 50 mg/L y con tiempo de tratamiento de 60 minutos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir con la línea de investigación en el tema de procedimientos avanzados de oxidación enfocado al método de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y luz solar, ya que se presenta como un tratamiento prometedor para la eliminación de nitratos u otros contaminantes más persistentes en el agua y se manifiesta como una buena alternativa sustentable y ecoamigable con el medio ambiente debido a la degradación de costos al utilizar la luz solar como fuente de energía.
2. Frente a esta problemática es preciso dejar líneas abiertas de investigación en cuanto al evento geológico de deslizamientos en el Valle de Sigüas a consecuencia del sobreuso de agua en la Irrigación de Pampa de Majes, así también líneas de proyecciones de infraestructuras de sistemas de drenajes de la actividad agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. El agua en cifras. Microsite Cultura del agua [en línea] Autoridad Nacional del Agua. Perú [fecha de consulta 25 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras#:~:text=Seg%C3%BAAn%20informaci%C3%B3n%20del%20Programa%20Naciones,con%20instalaciones%20adecuadas%20de%20saneamiento>
2. Censos Nacionales: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. 2017 [en línea]. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú [fecha de consulta 25 de marzo del 2021] Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf
3. MARTINEZ, I. Los deslizamientos en el Valle de Siguanay y exceso de riego en la Pampa de Majes (Arequipa). Revista “Agua y más” – Publicaciones. Autoridad Nacional del Agua [en línea] Octubre, 2016, 54, 6 pp. [fecha de consulta 5 de mayo del 2021] Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2586>
4. ONGLEY, E. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)* [en línea]. 55, Canadá, FAO, 1997, pp. 10-154 [fecha de consulta 25 de marzo de 2021]. ISBN 92-5-303875-6. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s00.htm>
5. Tratamientos actuales en la eliminación de nitratos [en línea] Madrid Blogs, 2 de Junio del 2009. El agua. Madrid, España. [fecha de consulta 25 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>
6. D.S. N°004-2017-MINAM. Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias [en línea] *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú, 7 de Junio de 2017. [fecha de consulta 04 de abril del 2021]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-ea-agua-establecen-disposiciones>

7. CHURATA, L. Degradación del colorante azoico textil naranja II por el método de Fotocatálisis Heterogénea. Tesis (Título de Ingeniera Química). Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín, 2017. 84 pp. [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5785>
8. MENDOZA, E. Evaluación de propiedades fotocatalítica de dióxido de titanio en la degradación de contaminantes orgánicos. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín, 2018. 80 pp. [fecha de consulta 1 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8912>
9. HERRERA, C., BEJARANO, M., DÍAZ, M., RAMOS, T. y VILLALBA, K. Determinación de los parámetros de degradación fotocatalítica de cromo hexavalente a cromo trivalente en un concentrador cilíndrico parabólico solar en una muestra simulada de curtiembre. Tecnología e innovación ambiental [en línea]. Febrero, 2021, 21. [fecha de consulta 1 de mayo del 2021]. ISSN: 101299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101299>
10. MACHACA, D. Y YANA, P. Remoción de cianuros de aguas residuales minero metalúrgicos por proceso de oxidación avanzada y fotocatalisis solar. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017. 79 pp. [fecha de consulta 1 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8803>
11. SANTIGAGO, J. Estudio de la viabilidad del uso de nanopartículas del dióxido de titanio en el tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel laboratorio en la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Octubre- Diciembre 2017. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Huánuco: Universidad de Huánuco, 2018. 135 pp. [fecha de consulta 6 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/931>
12. ESCOBAL, L., CHIQUILLÍN, D. Y MARTÍNEZ, L. Influencia de la concentración de TiO_2 y tiempo de residencia, en el proceso de fotocatalisis heterogénea como sistema remoción de Fe^{2+} en aguas ácidas de mina, Cajamarca 2018. Trabajo de investigación (Bachiller en

- Ingeniería Ambiental). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2018. 11 pp. [fecha de consulta 6 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11537/14156>
13. TRAVEZAÑO, A. y VALENZUELA, E. Influencia del tiempo y la concentración del contaminante en la degradación de aguas con derrames de aceite por fotocátalisis heterogénea a las condiciones del Valle del Mantaro. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. 67 pp. [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5055>
 14. MUÑOZ, Y. y PALOMINO, S. Influencia de la concentración de TiO₂ y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales de camal por fotocátalisis heterogénea. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. 111 pp. [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5054>
 15. HUANCA, Y. Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea. Tesis (Magister en Ingeniería Química) Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. 109 pp. [fecha de consulta 6 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5197>
 16. TOLENTINO, A., BENITES, E. y CABRERA, C. Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultravioleta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja – 2017. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos* [en línea]. Enero – Junio, 2019. 22(43), pp. 6 [fecha de consulta 6 de mayo del 2021]. ISSN: 1682-3087. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16680>
 17. GUARÍN, C., BENAVIDES M. Y CONSUELO, A. Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea] 2011, 10(19), pp. 79-88 [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. ISSN: 1692-3324. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75022317007>

18. MASABANDA, M., ECHEGARAY, R. y ALEGRÍA, A. 2017. Control de la contaminación de aguas residuales de curtiembre, mediante fotocátalisis heterogénea con TiO₂. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* [en línea] 2017, 2(1), pp. 57-77 [fecha de consulta 6 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.24133/rcsd.v2n1.2017.06>
19. ORRANTIA, I., ACOSTA, D, SALINAS, L., GONZÁLES, G. y LOZOYA, L. Fotocátalisis heterogénea para la remoción de Antimonio (Sb) en agua utilizando dióxido de titanio (TiO₂) como catalizador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea] 2019, 35, pp. 65-71 [fecha de consulta 19 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.08>
20. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. «El agua y la agricultura» [en línea] FAO, 2002. [fecha de consulta 23 de abril del 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
21. ONGLEY, E. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)* [en línea]. 55, Canadá, FAO, 1997, pp. 5-154 [fecha de consulta 25 de marzo de 2021]. ISBN 92-5-303875-6. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s00.htm>
22. WINPENNY, J., HEINZ, I. Y KOO-OSHIMA, S. *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* [en línea]. 35, Roma, FAO, 2013, pp. 26-144 [fecha de consulta 23 de abril del 2021]. ISBN 1020-1556. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>
23. Ley 28611. Ley General del Ambiente [en línea]. *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú, 13 de Octubre de 2005 [fecha de consulta 23 de abril del 2021] Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
24. Ley 29338. Ley de Recursos Hídricos. [en línea]. *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú, 31 de Marzo de 2009 [fecha de consulta 23 de abril del 2021] Disponible en: <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>

25. D.S. N°004-2017-MINAM. Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias [en línea] *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú, 7 de Junio de 2017. [fecha de consulta 04 de abril del 2021] Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-ea-agua-establecen-disposiciones>
26. ROSSET, P. Y BENJAMIN, M. *El enverdecimiento de la revolución: el experimento de Cuba con la agricultura orgánica*. Melbourne, Australia, 1994, 85 pp.
27. FAO. *Los fertilizantes y su uso* [en línea]. Canadá, FAO, 2002, pp. 8-85 [fecha de consulta 04 de abril del 2021] ISBN: 9253044144. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
28. ONGLEY, E. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)* [en línea]. 55, Canadá, FAO, 1997, pp. 23-154 [fecha de consulta 04 de Abril de 2021]. ISBN 92-5-303875-6. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s00.htm>
29. FAO. *Los fertilizantes y su uso* [en línea]. Canadá, FAO, 2002, pp. 9-85 [fecha de consulta 04 de abril del 2021] ISBN: 9253044144. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
30. ONGLEY, E. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)* [en línea]. 55, Canadá, FAO, 1997, pp. 23-154 [fecha de consulta 04 de Abril de 2021]. ISBN 92-5-303875-6. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s00.htm>
31. PACHECO, J. y CABRERA, A. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* [en línea]. Mayo- Agosto, 2003, 7(2), pp. 47-54 [fecha de consulta 04 de Abril de 2021]. ISSN: 1665-529x. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770204>

32. KAPOOR, A. y VIRARAGHAVAN, T. Eliminación de nitratos del agua potable Revista de Ingeniería Ambiental [en línea]. Abril, 1997. 123. 4, 371 pp. [fecha de consulta 04 de Abril de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770204>
33. GARCÉS, L., MEJÍA, E. y SANTAMARÍA, J. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación [en línea]. Junio, 2004, 1(1), pp. 83-92 [fecha de Consulta 04 de Abril de 2021]. ISSN: 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511013>
34. DOMÈNECH, X., JARDIM, W. y LITTER, M. *Procesos Avanzados de Oxidación para la eliminación de contaminantes* [en línea]. Miguel Blesa, 2001, pp. 2-24 [fecha de Consulta 15 de Abril de 2021]. 1. Disponible en: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
35. DOMÈNECH, X., JARDIM, W. y LITTER, M. *Procesos Avanzados de Oxidación para la eliminación de contaminantes*. [en línea]. Miguel Blesa, 2001, pp. 21-24 [fecha de Consulta 15 de Abril de 2021]. 1. Disponible en: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
36. BLANCO, J, FERNÁNDEZ, P y MALATO, S. Desintoxicación fotocatalítica solar y desinfección del agua: descripción general reciente. *Revista de Ingeniería de energía solar* [en línea]. Marzo, 2006. 129(1), pp. 4-15 [fecha de Consulta 15 de Abril de 2021] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/245367663_Solar_Photocatalytic_Detoxification_and_Disinfection_of_Water_Recent_Overview
37. TORRES, C. Fotocatalisis en nanotubos metaestables de TiO₂ sobre electrones de Ti para la degradación de naranja de metilo. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental) Santiago de Querétaro: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C, 2013. pp. 34-149 [fecha de Consulta 20 de Abril de 2021]. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/293/1/Fotocat%20asistida%20por%20potencial%20en%20electrodos%20de%20TiTiO2%20nanotubular%20para%20la%20degradaci%C3%B3n%20de%20naranja%20de%20metilo.pdf>

38. BLANCO, J, FERNÁNDEZ, P y MALATO, S. Desintoxicación fotocatalítica solar y desinfección del agua: descripción general reciente. *Revista de Ingeniería de energía solar* [en línea]. Marzo, 2006. 129(1), pp. 4-15 [fecha de Consulta 20 de Abril de 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1115/1.2390948>
39. ASHCROFT, N. y MERMIM, N. *Solid State Physics* [en línea]. Nueva York, Harcourt College Publishers, 1976. 848 pp. [fecha de Consulta 20 de Abril de 2021]. ISBN: 0-03-083993-9. Disponible en: https://www.fzu.cz/~knizek/literatura/Ashcroft_Mermin.pdf
40. CORONEL, J. Diseño y construcción de un reactor tipo Batch para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional. Tesis (Título de Ingeniera Química Industrial). Chile: Universidad Internacional de SEK, 2014. pp. 31-118 [fecha de Consulta 20 de Abril del 2021]. Disponible en:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1006/1/%E2%80%9CDise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20tipo%20batch%2C%20Universidad%20Internacional%20SEK%E2%80%9D.pdf>
41. DOMÈNECH, X., JARDIM, W. y LITTER, M. *Procesos Avanzados de Oxidación para la eliminación de contaminantes*. [en línea]. Miguel Blesa, 2001, pp. 21-24 [fecha de Consulta 21 de Abril de 2021]. 1. Disponible en: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
42. CHURATA, L. Degradación del colorante azoico textil naranja II por el método de Fotocatálisis Heterogénea. Tesis (Título de Ingeniera Química). Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín, 2017. pp.35-84 [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5785>
43. LISBONA, L. Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción. Tesis (Magister en Edificación). Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2016. pp. 30-83 [fecha de Consulta 20 de Abril del 2021]. Disponible en:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84141/Mem%C3%B2ria_LisbonaLucia%20Espiga.pdf

44. BANERJEE, S., PILLAI, S., FALARAS, P., O'SHEA K., BYRNE J. y DIONYSIOU, D. New Insights into the Mechanism of Visible Light Photocatalysis. *The Journal of Physical Chemistry Letters* [en línea]. 2014, 5(15), 2543-2554 [fecha de Consulta 20 de Abril de 2021]. Disponible en: http://web.missouri.edu/~glaserr/3700s15/VL-Photocats_jz501030x.pdf
45. BLANCO, J., RODRÍGUEZ, S., GASCA, C., BANDALA, E., GELOVER,S y LEAL, T. Purificación de aguas por fotocatalisis heterogénea: estado del arte. *Revista de Ingeniería de energía solar* [en línea] 2001, pp. 1-26 [fecha de Consulta 20 de Abril de 2021] Disponible en: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf>
46. ELKORO, A. Optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en morteros. Tesis (Magister de Ingeniera Estructural y de la Construcción). Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, 2013. pp. 15-74 [fecha de Consulta 24 de Abril del 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26094/TFM-AnderElkoro.pdf?sequence=1>
47. OHAMA, Y. y VAN GEMERT, D. Aplicación de la fotocatalisis de dióxido de titanio a materiales de construcción. *Informe de estado del arte del Comité Técnico de RILEM* [en línea] 2011 [fecha de Consulta 24 de Abril de 2021] ISBN: 978-94-007-1297-3. Disponible en: <https://www.springer.com/gp/book/9789400712966#>
48. FERNÁNDEZ, P. Procesos de fotocatalisis solar para la detoxificación y descontaminación de aguas. *TECNIA* [en línea]. Diciembre, 2010. 20(2), 13 pp. [fecha de Consulta 25 de Abril de 2021] ISSN: 2309-0413. Disponible en: <http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/102>
49. ROMERO, M. Energía solar térmica de baja temperatura [en línea]. 1^a ed. Para Dummies, 2009 [fecha de Consulta 25 de Abril de 2021]. ISBN: 9788432920356. Disponible en: <https://www.agapea.com/libros/Energia-solar-termica-de-baja-temperatura-9788432920356-i.htm>

50. TAMAYO, M. *El proceso de la investigación científica* [en línea]. 4^a. ed, México, Grupo Noriega Editores, 2003. pp. 23-175 [fecha de consulta 29 de marzo de 2021] ISBN: 968-18-5872-7. Disponible en: <http://evirtual.uaslp.mx/ENF/220/Biblioteca/Tamayo%20Tamayo-El%20proceso%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica2002.pdf>
51. TAMAYO, M. *El proceso de la investigación científica* [en línea]. 4^a. ed. México, Grupo Noriega Editores, 2003. pp. 36-175 [fecha de consulta 29 de marzo de 2021] ISBN: 968-18-5872-7. Disponible en: <http://evirtual.uaslp.mx/ENF/220/Biblioteca/Tamayo%20Tamayo-El%20proceso%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica2002.pdf>
52. HERNÁNDEZ, S. *Metodología de la investigación* [en línea]. 6^a. ed. México, Interamericana Editores, 2014. pp. 126,128-634 [fecha de consulta 29 de marzo de 2021] ISBN: 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
53. MONTGOMERY, D. *Diseño y análisis de experimentos* [en línea]. 2^a. ed, Estados Unidos, Limusa Wiley, 2005. [fecha de consulta 02 de mayo de 2021] ISBN: 9789681861568. Disponible en: https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C_Montgomery
54. FISHER, R. Una distribución que produce las funciones de error de varias estadísticas bien conocidas. *Actas del Congreso Internacional de Matemáticas* [en línea]. 1924, 2. Pp. 805-813 [fecha de consulta 21 de junio de 2021] Disponible en: <http://hdl.handle.net/2440/15183>
55. R.J. N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú, 11 de enero de 2016 [fecha de consulta 21 de abril de 2021] Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>

ANEXOS

ANEXO 1. Esquema General del Proyecto Majes Siguas I



Nota: Tomada de Gerencia Regional de Arequipa

ANEXO 2. Matrices de la investigación

Tabla 16. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis de investigación	Variable Dependiente		Método	Alcance
¿Hay degradación de nitratos por la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa?	Determinar la degradación de nitratos por la aplicación del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.	Hay degradación significativa de nitratos por aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando TiO ₂ como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.	Concentración de nitratos en efluentes residuales agrícolas	Ambiental Social	Método científico Se observan y se formulan procedimientos para dar una posible solución al planteamiento del problema.	Correlacional Se evalúa el grado de asociación de las variables independientes después de cuantificarlas, analizar y establecer el grado de vinculación entre ellas en relación con la causalidad.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis nula	Variable Independiente		Forma de Investigación	Diseño de la investigación
1. ¿Cuál será la eficiencia de tratar las aguas de regadío contaminadas con nitratos por medio del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar en comparación con el ECA valorizado en tratamientos avanzados en aguas superficiales para la producción de agua potable basado en la Categoría 1– A3? 2. ¿Qué modelo matemático sigue el tratamiento para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa? 3. ¿Cuáles son los parámetros óptimos en el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa?	1. Evaluar la eficiencia del método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar en comparación con el ECA valorizado en tratamientos avanzados en aguas superficiales para la producción de agua potable basado en la Categoría 1– A3. 2. Determinar el modelo matemático del tratamiento para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa. 3. Determinar los parámetros óptimos en el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar para la degradación de nitratos de efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.	No hay degradación significativa de nitratos por aplicación del método de fotocátalisis heterogénea utilizando TiO ₂ como catalizador y luz solar en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa.	Método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio	Ambiental Social	Aplicada Se ha pretendido dar una solución al planteamiento del problema.	Cuantitativo Los resultados se expresan en valores tras aplicar el método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO ₂) como catalizador y luz solar.
			POBLACIÓN		Experimental Por tener variables experimentales que fueron observadas en condiciones controladas con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produjo una situación particular aplicando el método.	
			Cuenca baja del Río Sigwas; aguas abajo de la Pampa de Majes del distrito de Majes, Arequipa			
MUESTRA		Muestra de efluente residual de la agricultura en el Río Sigwas.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
PROPUESTAS TEÓRICAS		Técnicas		Instrumentos		
<ul style="list-style-type: none"> • Antecedentes de investigación de tesis. • Antecedentes de revistas científicas. • Antecedentes de artículos de investigación. • Antecedentes de libros digitales y físicos. 		Recolección de muestra: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Análisis químico de muestras: ASTM D 3867- 09 Método de ensayo estándar para nitrato en agua. Análisis de datos: Estadística (Excel y softwares estadísticos: Minitab, SPSS Statistics y Statgraphics).		<ul style="list-style-type: none"> • Cuaderno de campo/ Lab Journal • Registro de datos en campo • Ficha de Identificación del punto de monitoreo. • Formatos de cadena de custodia. • Otros (Equipos y materiales) 		

Nota: Elaboración propia

Tabla 17. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable dependiente:				
Concentración de nitratos en efluentes residuales agrícolas	De acuerdo al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), los efluentes residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua.	La cantidad de iones nitratos (NO ₃) ⁻ presentes en la muestra inicial a tratar.	Ambiental Social	Concentración de nitratos post-tratamiento. (ppm)
Variable independiente:				
Método de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio	Según Chávez y Tosti (2004) el método fotocatalítico comienza con la absorción de un fotón de energía adecuada de un material semiconductor como el TiO ₂ , en el cual un electrón de la banda de valencia es promovido a la banda de conducción, generándose en consecuencia una vacancia electrónica o “hueco” en la banda de valencia. Según Fernández (2010) es el uso de un sólido semiconductor que forma una suspensión estable bajo irradiación para estimular una reacción en la interfase sólido/ líquido o sólido/ gas líquido o sólido/ gas.	Degradar iones nitratos (NO ₃) ⁻ presentes en la solución tras la ejecución del mismo.	Ambiental Social	pH (adimensional) Tiempo de tratamiento (minutos) Concentración de catalizador dióxido de titanio (ppm)

Nota: Elaboración propia

ANEXO 3. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antrópico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco-N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₁ - C ₂₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
III. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	89,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Didoro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptadoro y Heptadoro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldcarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformos Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

ANEXO 5. Ficha de Identificación de punto de muestreo

ANEXO IV



FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua: Río Sigüas

Clasificación del cuerpo de agua: Categoría 3
(Categorizado de acuerdo con la R.L. N° 262-2019-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: Bocatoma Pitay, Cuenca Río Colca
(Código Prefijado)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo: DAS01 / Código referencial ANA: RSigüa2.
(Según lo indicado en ítem 6.5.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción: Río con agua sin mucha turbidez, caudal regular / Confluencia de los ríos Uta y Lhualla.
(Origen/ubicación)

Accesibilidad: Por la carretera de la Panamericana Sur hasta la toma Lateral 2L-VRA, del distrito de Majes con dirección al Sector Alto Sigüas.
(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad: Presencia de zonas de cultivo y trochas al descender al margen del río.
(Describir el trazo de río o quebrada o la bahía o zona de laguna o mar, que el punto de monitoreo represente)

Finalidad del monitoreo: Determinar el grado de contaminación por nitratos para posterior tratamiento
(Describir la finalidad del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante, ...)

Reconocimiento del Entorno: Curvas con pendientes en el sentido del flujo descendente.
(Indicar referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo.)

UBICACIÓN

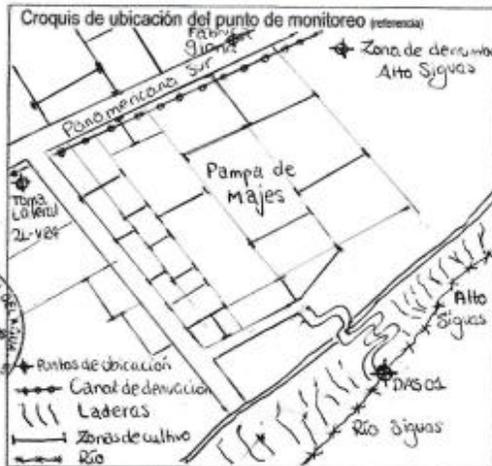
Distrito: Majes Provincia: Caylloma Departamento: Arequipa

Localidad: Alto Sigüas / Pedregal Sur; aguas abajo de la Pampa de Majes.

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte/Latitud: 803017 Zona: 18 (17, 18 o 19, para UTM solamente)

Este/Longitud: 8184815 Altitud: 1167 (metros sobre el nivel del mar)



Elaborado por: Ivonne Bonet Montaña Paredes Fecha: 29/04/2021

ANEXO 6. Cadena de Custodia de agua / Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda.

	Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. Parq. Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa. Telf: (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com	CADENA DE CUSTODIA - AGUA	H.C.C. N°: _____ BOJA: _____ de _____
			Código Reg: F-010-02 Versión: 01 Aprob por: _____ Fecha Rev: 16/10/2019 Jefe Monitoreo de Aguas

Señores: <u>Ivonne Bonet Montaña Paredes</u> Dirección: <u>Orqospampa H. A LT 21 Cerro Verde - Uchumayo</u> Atención: <u>Ivonne Bonet Montaña Paredes</u> Responsable del muestreo: <u>Ivonne Bonet Montaña Paredes</u>	RUC: <u>72221374</u> Teléfono: <u>940116030</u> e-mail: <u>imontañab350@gmail.com</u> D.N.I.: _____	Consultas: Gerencia de Operaciones e-mail: <u>las@laboratoriosanaliticosdelsur.com</u>						
Proyecto/ Pro: _____								
Muestra(s): <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Puntual(es) para formar compuesto</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Puntual(es)</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td>Composito(s)</td> <td></td> </tr> </table>		Puntual(es) para formar compuesto		Puntual(es)	x	Composito(s)		
Puntual(es) para formar compuesto								
Puntual(es)	x							
Composito(s)								

Codigo LAS <small>(campo para ser llenado solo por el laboratorio)</small>	Fecha	Hora	Matriz*	Codigo de campo	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plastico	Vidrio	
	29/09/2021	17:00	ARIO	DAS01	DAS 01	Alto Suyus, Dpto. Mojos, CRULLOMA/ AREQUIPA.	184 E 803019 N 8184815	01		300 mL

Los datos de muestreo proporcionado por el cliente, tiene valor de declaración jurada. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por el muestreo, ni por la información relacionada cuando la muestra es proporcionada por el cliente.

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo

Observaciones: _____

Campos para llenarse cuando se recepcionan las muestras en LAS

	SI	NO		SI	NO
Recipiente(s) adecuado(s):	✓		Blanco viajero:		✓
Muestras recibidas intactas:	✓		Blanco de Campo:		✓
Conservación de muestras:	✓		Duplicados:		✓
Condiciones transporte:	Contenedor <u>Al ambiente</u>				

Fecha de recepción: 30/04/2021
 Hora de recepción: 16:25
 Temperatura CV: 15

Firma: 
 Reores. cliente:

Firma: 
 Entrega a LAS:


 Firma: _____
 Recibido (LAS): Yuri Cochacoma

**Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda.**

Parq. Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa.
 Teléf. (064) 443294 Fax (064) 444582
 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

H.C.C. N°:

HOJA: de

CADENA DE CUSTODIA - AGUA

Código Reg: F-010-02

Versión: 01

Aprob. por:
Jefe Monitoreo de AguasFecha Rev:
15/10/2019

Señores: Montaña Paredes, Ivonne Bonet
 Dirección: Orispampa N2 A L3 21 Cerro Verde
 Atención: Montaña Paredes, Ivonne Bonet

RUC: 72221374

Teléfono: 940116030

e-mail: imontana6396@gmail.com

Proyecto/Pro: *Fotometría heterogénea para la degradación de*

Muestra(s):	Puntual(es) para formar compuesto	
	Puntual(es)	x
	Composito(s)	

minutos en efluentes residuales de la agricultura en el distrito de Majes, Arequipa 2023.

Consultas:

Gerencia de Operaciones

Responsable del muestreo: Montaña Paredes, Ivonne Bonet

e-mail: las@laboratoriosanaliticosdelsur.com

Codigo LAS <small>(campo para ser llenado solo por el laboratorio)</small>	Fecha	Hora	Matriz	Codigo de camión	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plástico	Vidrio	
						341	10/05/21	01:09 PM	ARío	
342	11/05/21	10:14 AM	ARío		PE2 - DASO1	"	"	1		300 mL
343	10/05/21	2:20 PM	ARío		PE3 - DASO1	"	"	1		300 mL
344	11/05/21	2:04 PM	ARío		PE4 - DASO1	"	"	1		300 mL
345	11/05/21	5:22 PM	ARío		PE5 - DASO1	"	"	1		300 mL
346	11/05/21	4:10 PM	ARío		PE6 - DASO1	"	"	1		300 mL
347	12/05/21	10:13 AM	ARío		PE7 - DASO1	"	"	1		300 mL

Los datos de muestreo proporcionado por el cliente, tiene valor de declaración jurada. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por el muestreo, ni por la información relacionada cuando la muestra es proporcionada por el cliente.

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo

Campos para llenarse cuando se reciben las muestras en LAS

Observaciones:

Recipiente(s) adecuado(s):
 Muestras recibidas intactas:
 Conservación de muestras:
 Condiciones transporte:

SI	NO	SI	NO
X			X
X			X
X			X

Blanco viajero:
 Blanco de Campo:
 Duplicados:

Fecha de recepción: 13-05-21
 Hora de recepción: 9:11
 Temperatura CV: 16°C

Firma:
 Repres. cliente: _____

Firma:
 Entrega a LAS: _____

Firma:
 Recibido (LAB): _____



**Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda.**

Parq. Industrial Río Seco C-1 Carro Colorado Arequipa.
 Telef. (054) 443294 Fax (054) 444582
 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

H.C.C. N°:

HOJA: de

CADENA DE CUSTODIA - AGUA

Código Reg: F-010-02

Versión: 01

Aprob por:
Jefe Monitoreo de AguasFecha Rev:
16/10/2019

Señores: Montaña Paredes, Ivonne Bonet

RUC: 42221374

Teléfono: 940116030

e-mail: montana.696@gmail.com

Dirección:

Proyecto/ Pro

Consultas:

Atención:

Muestra(s):

Puntual(es) para formar composito	
Puntual(es)	x
Composito(s)	

Gerencia de Operaciones

Responsable del muestreo:

e-mail: las@laboratoriosanaliticosdelsur.com

Codigo LAS <small>(campo para ser llenado solo por el laboratorio)</small>	Fecha	Hora	Matriz*	Codigo de campo	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plastico	Vidrio	
348	12/05/21	12:30PM	ARío		PE6 - DAS01	"	"	1		300 mL
349	10/05/21	4:25PM	ARío		R1 - DAS01	"	"	1		300 mL
350	12/05/21	4:02PM	ARío		R2 - DAS01	"	"	1		300 mL
351	12/05/21	5:40PM	ARío		R3 - DAS01	"	"	1		300 mL

Los datos de muestreo proporcionado por el cliente, tiene valor de declaración jurada. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por el muestreo, ni por la información relacionada cuando la muestra es proporcionada por el cliente.

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el informe de ensayo

Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

Campos para llenarse cuando se recepcionan las muestras en LAS

Recipiente(s) adecuado(s):

Muestras recibidas intactas:

Conservacion de muestras:

Condiciones transporte:

SI	NO

Blanco viajero:

Blanco de Campo:

Duplicados:

SI	NO

Fecha de recepción:

Hora de recepción:

Temperatura CV:

Firma _____

Repres. cliente: _____

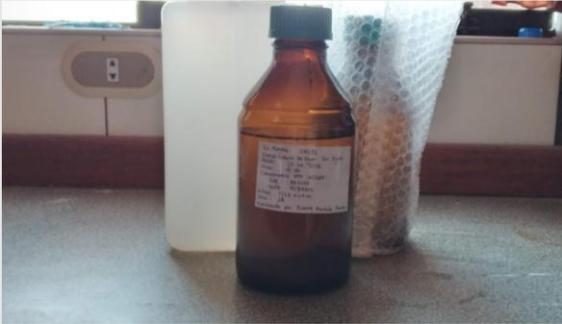
Firma _____

Entrega a LAS: _____

Firma _____

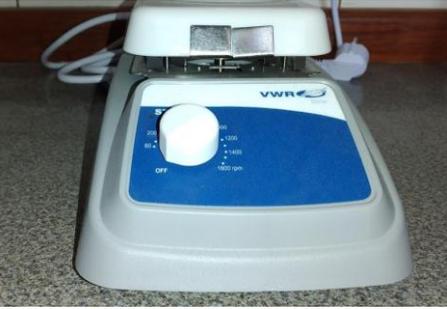
Recibido (LAS): _____

ANEXO 7. Equipos y materiales para recolección de muestra

EQUIPOS	MATERIALES	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
- GPS VISTA HCx eTrex	- Frascos de vidrio graduado ámbar con tapa rosa de 0.45 GL	- EPP para campo:
		
	- Pizarra acrílica blanca 40 x 60 cm	- EPP para recolección de muestra
		

Nota: Elaboración propia

ANEXO 8. Equipos y materiales para trabajo en gabinete

EQUIPOS	MATERIALES	INSUMOS
<p>- Balanza electrónica Adventurer™ Balances OHAUS</p>	<p>- Lámpara Solar LED</p>	<p>- Dióxido de titanio Degussa P-25</p>
		
<p>- Agitador con placa magnética caliente VWR® STIR</p>	<p>- Tiras de indicador de pH PANPEHA</p>	<p>- Agua destilada, peróxido de oxígeno, otros</p>
		
		

Nota: Elaboración propia

ANEXO 9. Informe de Monitoreo de Calidad de Agua/ Autoridad Nacional del Agua/ ALA Colca-Siguas-Chivay

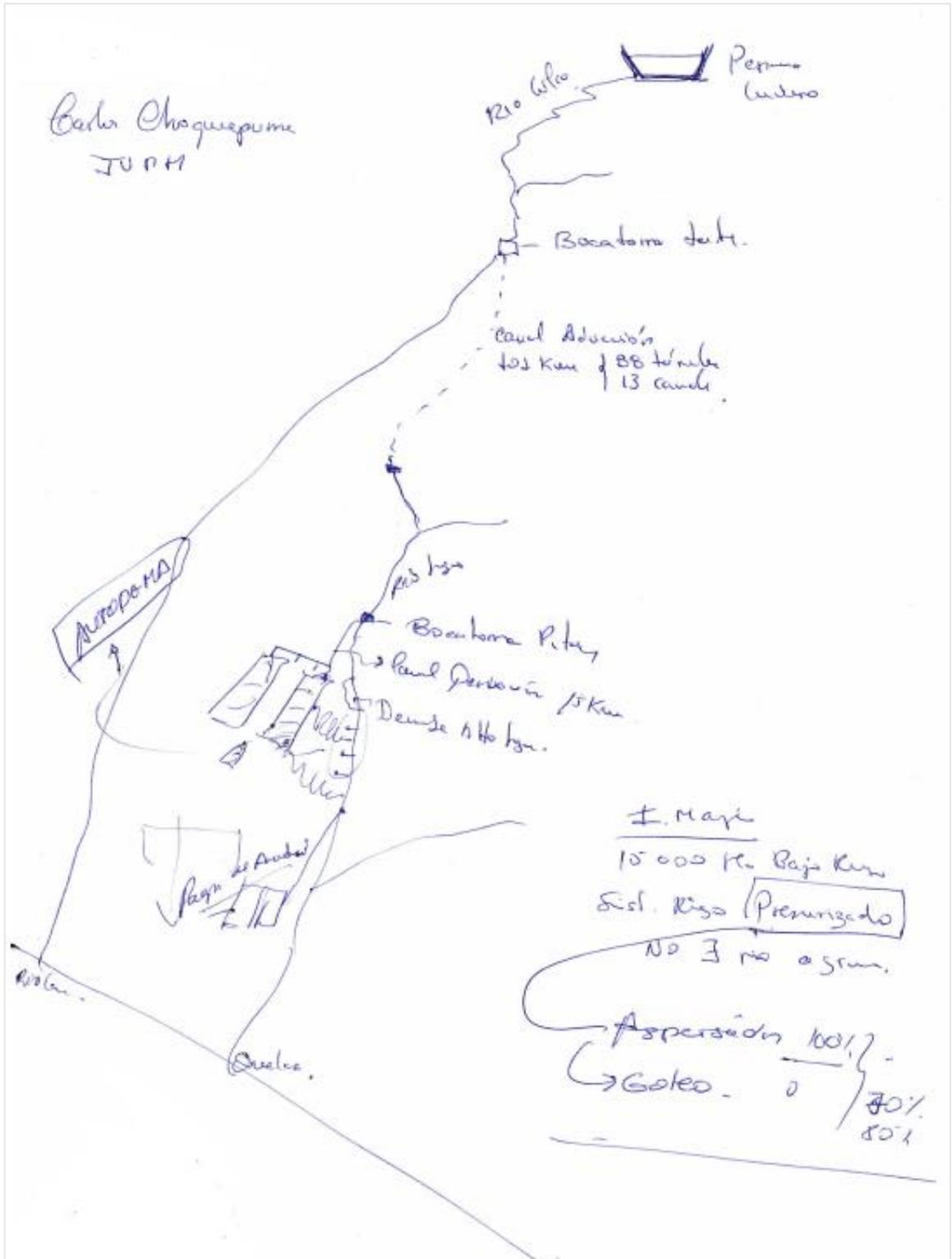
CUADRO DE RESULTADOS DE PARAMETROS

* Los parámetros pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto fueron medidos *in situ* y corresponden a los puntos de muestreo asignados en el cuadro

		Categoría 1		Categoría 3		
		ECA-AGUA		ECA-AGUA		
		ECA AGUA Cat.1-A2	RSigul	Cat.3-D1	Cat.3-D2	RSigul2
Nombre del Cuerpo de Agua			Río Siguas			Río Siguas
Fecha monitoreo		DD/MM/YYYY	23/09/2020	DD/MM/YYYY	DD/MM/YYYY	24/09/2020
Hora Monitoreo		hh:mm	13:00	hh:mm	hh:mm	08:30
Nro del Informe del Ensayo analítico			46840/2020			46980/2020
Departamento			AREQUIPA			AREQUIPA
Código del Informe Técnico			RSigul			RSigul2
PARAMETROS	UNIDAD	Cat.1-A2	RSigul	Cat.3-D1	Cat.3-D2	RSigul2
FISICOS - QUIMICOS		Unidad Medida				
Aceites y Grasas	mg/L	≤1,7	<0,100	≤5	≤10	<0,100
Amoníaco-N	mg/L	≤1,5	0,044	---	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	≤5,18	---	188,9
Caudal	L/s	---	13500	---	---	330
Cianuro Libre	mg/L	≤0,2	<0,0006	---	---	---
Cianuro WAD	mg/L	---	---	≤0,1	≤0,1	0,016
Cloruros	mg/L	≤25,0	97,62	≤500	---	734,4
Conductividad	(µS/cm)	≤1600	664	≤2500	≤5000	4390
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	≤5	3	≤15	≤15	<2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	≤20	6	≤40	≤40	11
Detergentes (SAAM)	mg/L	---	---	≤0,2	≤0,5	<0,002
Fenoles	mg/L	---	---	≤0,002	≤0,01	---
Fósforo Total	mg/L	≤0,15	0,211	---	---	0,178
Nitratos (NO3-)	mg/L	50	0,186	---	---	---
Nitratos (NO3-N)+Nitritos (NO2-N)	mg/L	---	---	≤100	≤100	45,00
Nitratos-N	mg/L	---	0,042	---	---	---
Nitritos (NO2-)	mg/L	≤3	<0,015	---	---	---
Nitritos-N	mg/L	---	<0,004	≤10	≤10	0,0004
Nitrógeno Total	mg/L	---	0,301	---	---	49,86
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	8,44	≥4	≥5	9,71
pH	Unidad de PH	5,5 - 9,0	7,8	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4	8,05
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	---	407	---	---	---
Sulfatos	mg/L	≤500	90,86	≤1000	≤1000	845,5
Fluoruros	mg/L	---	---	1 mg/L	1 mg/L	<0,002
Sulfuros	mg/L	---	---	---	---	---
Temperatura	°C	±3	16,7	±3	±3	17,4
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	---	---	---	---	---
INORGANICOS						
Aluminio	mg/L	≤5	1,472	≤5	≤5	1,918
Antimonio	mg/L	≤0,02	0,0003	---	---	<0,0002
Arsénico	mg/L	≤0,01	0,0277	≤0,1	≤0,2	0,0072
Bario	mg/L	≤1	0,0946	≤0,7	---	0,0949
Berilio	mg/L	≤0,04	<0,0002	≤0,1	≤0,1	<0,0002
Bismuto	mg/L	---	<0,0002	---	---	<0,0002
Boro	mg/L	≤2,4	0,565	≤1	≤5	2,267
Cadmio	mg/L	≤0,005	<0,00010	≤0,01	≤0,05	<0,00010
Calcio	mg/L	---	46,30	---	---	511,7
Cobalto	mg/L	---	0,0011	≤0,05	≤1	0,0010
Cobre	mg/L	≤2	0,0053	≤0,2	≤0,5	0,0048
Cromo Total	mg/L	≤0,05	0,0011	≤0,1	≤1	0,0020
Estaño	mg/L	---	0,0005	---	---	---
Estroncio	mg/L	---	0,6017	---	---	---
Hierro	mg/L	≤1	1,383	≤5	---	1,619
Litio	mg/L	---	0,0983	≤2,5	≤2,5	0,0812
Magnesio	mg/L	---	11,58	---	≤2,50	57,76
Manganeso	mg/L	≤0,4	0,0829	≤0,2	≤0,2	0,1486
Mercurio	mg/L	≤0,002	<0,00005	≤0,001	≤0,01	<0,00005
Molibdeno	mg/L	---	0,0017	---	---	0,0068
Níquel	mg/L	---	0,0021	≤0,2	≤1	0,0020
Plata	mg/L	---	<0,00008	---	---	<0,00008

Plomo	mg/L	≤0,05	0,0011	≤0,05	≤0,05	0,0012
Potasio	mg/L	---	6,23	---	---	21,87
Selenio	mg/L	≤0,04	< 0,0006	≤0,02	≤0,05	0,0229
Silicio	mg/L	---	12,90	---	---	---
Sodio	mg/L	--	74,18	---	---	488,6
Italio	mg/L	---	< 0,0002	---	---	---
Titanio	mg/L	---	0,0582	---	---	---
Uranio	mg/L	≤0,02	0,0006	---	---	---
Vanadio	mg/L	---	0,0067	---	---	---
Zinc	mg/L	≤5	0,011	≤2	≤24	< 0,008
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	≤2,000	70	≤1000	≤1000	130
Escherichia coli	NMP/100ml	---	33	≤1000	---	49
Huevos de Helminfos	Huevo/L	---	---	1	---	< 1
PLAGUICIDAS						
Pantión	µg/L	---	---	≤35	≤35	< 0,0119

ANEXO 10. Ruta gráfica de accesibilidad del punto de recolección



Nota: Elaborado por miembro de la Junta de Usuarios de Pampa de Majes.

ANEXO 11. Panel fotográfico

PANEL FOTOGRÁFICO EN CAMPO



Fotografía 1. Campos de alfalfa de Pampa de Majes del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 2. Campos de cultivo de paprika de Pampa de Majes del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 3. Cosecha de papa de Pampa de Majes del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 4. Canal de regadío del Proyecto Especial Majes Siguas I



Fotografía 5. Obtención del agua del canal regadío para ser potabilizada en cisternas.



Fotografía 6. Planta de tratamiento de aguas del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa en el distrito de Majes.

Nota: Elaboración propia

PANEL FOTOGRÁFICO EN CAMPO



Fotografía 7. Reunión con miembro de la Junta de Usuarios de Pampa de Majes (JUMP).



Fotografía 8. Visita a la oficina de la Autoridad Local del Agua/ Colca-Siguas-Chivay.



Fotografía 9. Agroindustrial del Perú del Grupo Gloria del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 10. Toma Lateral 2L- VR4 del Proyecto Especial Majes Siguas I.



Fotografía 11. Verificación en campo para identificar el punto de muestreo.



Fotografía 12. Derrumbes de Alto Siguas del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 13. Pampa de Majes aguas abajo del distrito de Majes, Arequipa.



Fotografía 14. Ruta de acceso de pendientes al punto de muestreo.

Nota: Elaboración propia

PANEL FOTOGRÁFICO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA



Fotografía 15. Entrada al punto de muestreo en el Río Sigvas, código RSigu2 reconocido por la ANA.



Fotografía 16. Medición de parámetros del cuerpo natural receptor.



Fotografía 17. Toma de muestra para monitoreo por miembro del ALA/Colca-Siguas-Chivay



Fotografía 18. Registro de datos de campo del punto de muestreo



Fotografía 19. Toma de muestra propia para trabajo de investigación según el Protocolo Nacional de Recursos Hídricos Superficiales.



Fotografía 20. Recolección de muestras en conjunto con representantes de la Administración Local del Agua/Colca-Siguas-Chivay

Nota: Elaboración propia

PANEL FOTOGRÁFICO EN GABINETE



Fotografía 21. Pesaje del catalizador en la balanza electrónica.



Fotografía 22. Medición de la cantidad de la muestra con la probeta.



Fotografía 23. Traspaso de la cantidad de la muestra al Beaker para el tratamiento.



Fotografía 24. Parámetros medidos para el tratamiento.



Fotografía 25. Variación del pH de la solución con papel indicador de pH.



Fotografía 26. Colocación de la barra agitadora en el reactor Batch para el sistema fotocatalítico.

Nota: Elaboración propia

PANEL FOTOGRÁFICO EN GABINETE



Fotografía 27. Activación de la luz visible emitida por el colector solar.



Fotografía 28. Montaje del sistema fotocatalítico.



Fotografía 29. Montaje del sistema fotocatalítico sin papel reflectante.



Fotografía 30. Montaje del sistema fotocatalítico con papel reflectante.



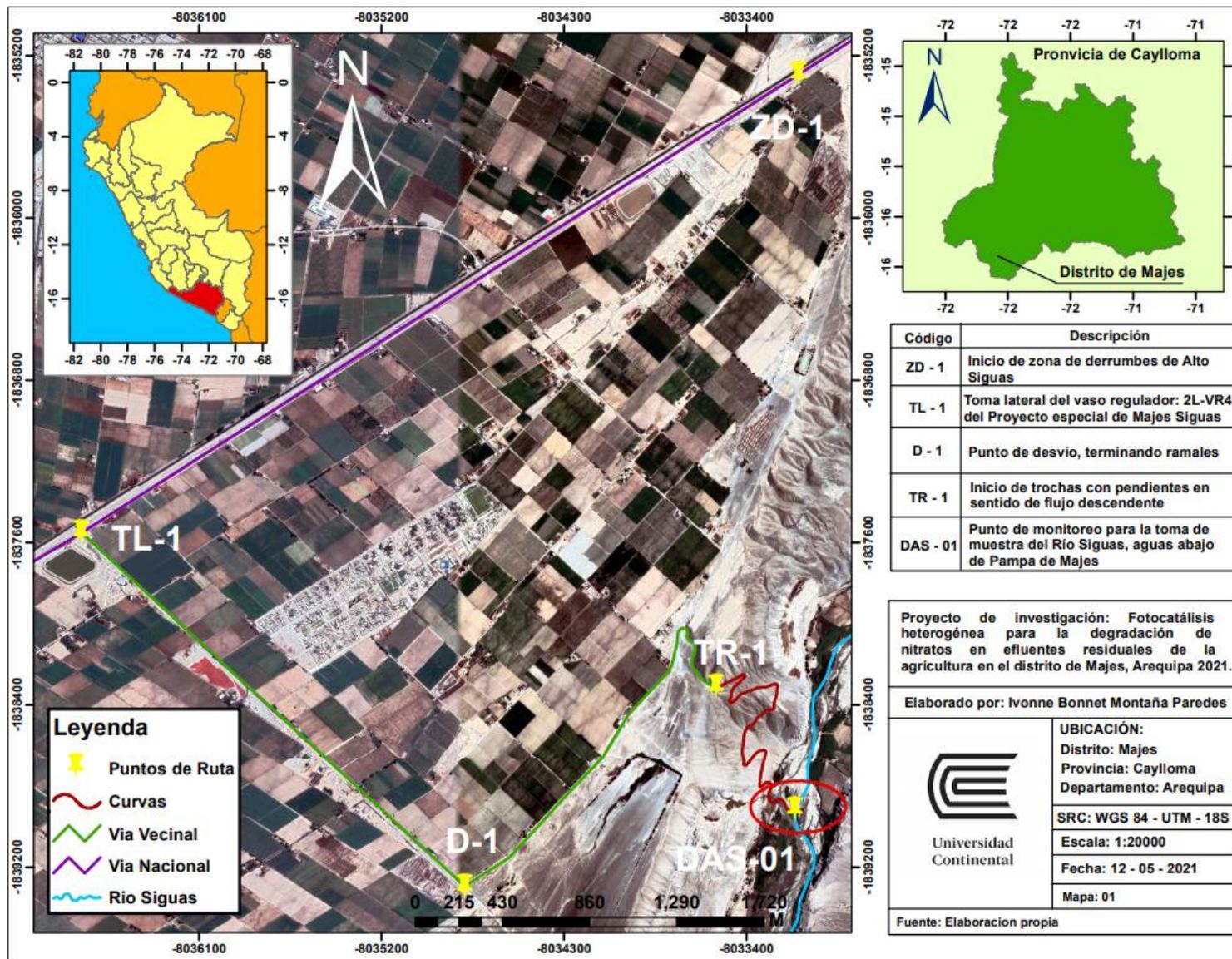
Fotografía 31. Filtros de las muestras luego de ser aplicado el tratamiento.



Fotografía 32. Entrega de muestras debidamente transportadas al laboratorio analítico acreditado.

Nota: Elaboración propia

ANEXO 12. Mapa de ubicación del punto de muestreo



ANEXO 13. Resultado de análisis de las pruebas preliminares



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-21-00250

Fecha de emisión: 20/04/2021

Página 1 de 1

Clave generada : A9E63367

Señores: IVONNE BONET MONTAÑA PAREDES
Dirección: ORCOPAMPAMZ A LT 21- CERRO VERDE - UCHUMAYO - AREQUIPA
Atención: IVONNE BONET MONTAÑA PAREDES
Recepción: 16/04/2021
Realización: 16/04/2021
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*934 Método de ensayo para nitratos por fotometría

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*934
				NO3- mg/L
SS21001519	PP1	No proporcionado por el cliente.	Solución	48,5
SS21001520	PP2	No proporcionado por el cliente.	Solución	32,4

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico QIP 114428

"*a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

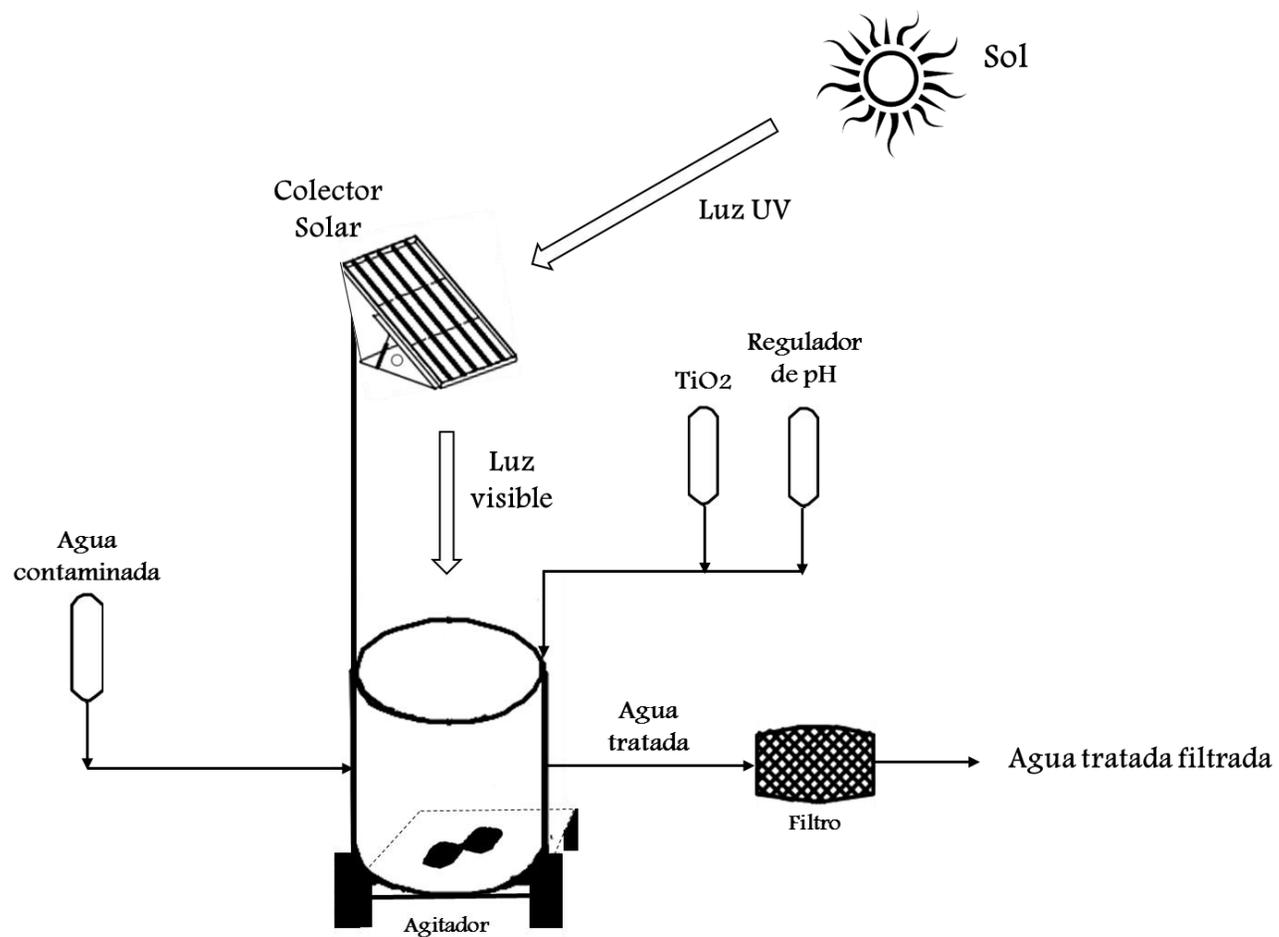
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

ANEXO 14. Esquema del proceso de fotocatalisis heterogénea en un reactor tipo Batch



Nota: Esquema adaptado de «Purificación de aguas por fotocatalisis heterogénea: estado del arte» por Blanco, Malato, A-Estrada, R-Bandala, Golover y Leal, 2006.

ANEXO 15. Resultado del análisis de la muestra madre inicial



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00046

Fecha de emisión: 3/05/2021

Página 2 de 3

Clave generada : 82C52FE5

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*839 NO3- mg/L
AG21000306	DAS 01	65,4


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*a<Valor numérico>=Limite de detección del método, *b<Valor Numérico>=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú,(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

ANEXO 16. Resultados de análisis de las pruebas experimentales



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00056

Fecha de emisión: 4/06/2021

Página 2 de 3

Clave generada : 9BDE1EA4

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*839 NO3- mg/L
AG21000341	PE1-DAS01	63,3
AG21000342	PE2-DAS01	45,8
AG21000343	PE3-DAS01	52,4
AG21000344	PE4-DAS01	46,7
AG21000345	PE5-DAS01	31,1
AG21000346	PE6-DAS01	42,6
AG21000347	PE7-DAS01	38,1
AG21000348	PE8-DAS01	59,7
AG21000349	R1-DAS01	39,2
AG21000350	R2-DAS01	49,2
AG21000351	R3-DAS01	47,4


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Nelra
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00059

Fecha de emisión: 28/05/2021

Página 2 de 3

Clave generada : B610335

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*839 NO3- mg/L
AG21000418	PE1-DAS01	66,1
AG21000419	PE3-DAS01	69,1
AG21000420	PE8-DAS01	41,5
AG21000421	R1-DAS01	56,8


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"*<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00062

Fecha de emisión: 02/06/2021

Página 2 de 3

Clave generada : B79E897E

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*839 NO3- mg/L
AG21000441	PE1-DAS01	24,8
AG21000442	PE3-DAS01	27,8
AG21000443	R1-DAS01	26,1


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.R. 18474

*a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

ANEXO 17. Certificado de acreditación del Laboratorio Analíticos del Sur por INACAL



ANEXO 18. Certificados de conformidad de equipos

A. Balanza electrónica Adventurer™ Balances

Certificado de producto de la Balanza electrónica Adventurer™ Balances OHAUS USA

 **OHAUS Corporation**
www.ohaus.com

Production Certificate

Certificate No.:  C030759203 Date: 10-27-2020

Product Information

Model: AX224N
Serial Number: C030759203
Max Capacity: 220 g
Readability: 0.001 or 0.0001 g
Verification Value: 0.001 g (Approval models only)
Class: I (Approval models only)

Environmental Conditions

Temperature: 21.0 °C

Test results

	Specification	Test Results
Repeatability (SD)	0.0001 g	Pass
Eccentric Load	0.0004 g	Pass
Linearity	±0.0002 g	Pass

Declaration

This balance was produced and tested at an ISO 9001:2015 and ISO 14001:2015 certified facility. The test results above confirm that the balance meets the technical specifications.


30307390

11. CONFORMIDAD

La conformidad con las siguientes normas se indica con la marca correspondiente en el producto.

Marca	Standard (Estándar)
	Este producto cumple con la directiva EMC 2004/108/EC, la directiva de baja tensión 2006/95/EC y la directiva de instrumento de pesaje no automático 2009/23/EC. La Declaración de conformidad está disponible en internet a través de http://europe.ohaus.com/europe/en/home/support/compliance/ce-declaration-of-conformity.aspx .
	AS/NZS CISPR 11, AS/NZS 61000.4.3
	CAN/CSA-C22.2 N.º61010-1-12 UL Std. N.º61010-1 (3ª edición)

	Aviso importante para instrumentos de pesaje verificados Los instrumentos de pesaje verificados en el lugar de fabricación presentan una de las marcas anteriores en la etiqueta de empaquetado y la etiqueta 'M' (metrología) en la placa descriptiva. Se pueden poner en funcionamiento inmediatamente.
	Los instrumentos de pesaje que se deben verificar en dos etapas no tienen la 'M' (metrología) verde en la placa descriptiva y presentan una de las marcas de identificación anteriores en la etiqueta de empaquetado. La segunda etapa de la verificación inicial la debe realizar la organización de servicio aprobada del representante autorizado que pertenezca a la CE o pueden realizarla las autoridades nacionales de pesos y medidas (W+M). La primera etapa de la verificación inicial se ha realiza en el trabajo del fabricante. Incluye todas las pruebas según la norma europea adoptada EN45501:1992, párrafo 8.2.2. Si las normativas nacionales limitan el periodo de validez de la verificación, el usuario del instrumento de pesaje debe comprobar el periodo de una nueva verificación e informar a las autoridades de W+M respectivas.

Nota sobre FCC

Este equipo ha sido sometido a pruebas y ha demostrado cumplir con los límites para dispositivos digitales de clase A, según la Parte 15 de las normas de la FCC. Estos límites están diseñados para proporcionar una protección razonable frente a interferencias perjudiciales cuando se utiliza el equipo en un entorno comercial. Este equipo genera, utiliza y puede emitir energía de radiofrecuencia y, si no se instala y utiliza según las instrucciones del manual puede provocar interferencias perjudiciales a las comunicaciones por radio. La utilización de este equipo en un área residencial puede provocar interferencias perjudiciales. En este caso, el usuario deberá corregir la interferencia por su cuenta.

Nota sobre la Industry Canada

Este aparato digital de clase A cumple con la norma canadiense ICES-001.

Registro en ISO 9001

En 1994, OHAUS Corporation, EEUU, recibió el certificado de registro en la ISO 9001 del Bureau Veritas Quality International (BVQI), confirmando que el sistema de gestión de calidad de OHAUS cumple con los requisitos de la norma ISO 9001. El 21 de junio de 2012, OHAUS Corporation, EEUU, se registró nuevamente en la norma ISO 9001:2008. En cumplimiento con la Directiva Europea:



Eliminación

En cumplimiento con la Directiva europea 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE), este dispositivo no se puede eliminar como residuo doméstico. También se aplica en países fuera de la UE, según sus requisitos específicos.

La directiva de baterías 2006/66/EC presenta nuevos requisitos desde septiembre de 2008 sobre la desmontabilidad de las baterías de los residuos de aparatos en los estados miembros de la UE. Para cumplir esta directiva, se ha diseñado este dispositivo para retirar las baterías de manera segura al final de su vida mediante una planta de tratamiento de residuos.

Elimine este producto según las normativas locales en el punto de recolección especificado para equipos eléctricos y electrónicos.

Si tiene alguna pregunta, póngase en contacto con la autoridad responsable o el distribuidor del que adquirió este dispositivo.

En caso de que este dispositivo se entregará a un tercero (para uso privado o profesional), se debe hacer referencia al contenido de esta regulación.

Para más información sobre las instrucciones de eliminación en Europa consulte la página web <http://europe.ohaus.com/europe/en/home/support/weee.aspx>.

Gracias por su contribución a la protección del medioambiente.

B. AGITADOR PROFESIONAL DE PLACA CALIENTE VWR® STIR

Certificado de Inspección del Agitador con placa magnética caliente VWR® STIR

CERTIFICATE OF INSPECTION	
INSTRUMENT SERIAL NUMBER: 171106001	DATE OF MANUFACTURE: 11/06/17
This instrument has passed all testing:	YES
This instrument has been assembled by:	CB KH
This instrument has been calibrated by:	SBB
This instrument has been packaged by:	SBB
This Scientific Instrument was made with *PRIDE* in the USA.	
	
7-063-BF (Rev. 11/12)	

Placas / agitadores/ agitadores de placa y mini-agitadores automáticos estándar, avanzados y profesionales

Instrucciones de seguridad

Por favor, consulte el manual completo de instrucciones en el CD. Por favor, lea el manual de instrucciones completamente antes de utilizar las unidades.



¡ADVERTENCIA! NO utilice las unidades en ambientes peligrosos o con materiales peligrosos para los que la unidad no haya sido diseñada. Asimismo, el usuario debe saber que la protección facilitada por el equipo podría verse reducida si se utiliza con accesorios no suministrados o recomendados por el fabricante, o si se utiliza de manera no especificada por éste.

Use siempre la unidad sobre una superficie nivelada para un mejor rendimiento y una máxima seguridad.

NO eleve la unidad por la placa superior



¡PRECAUCIÓN! Para evitar una descarga eléctrica, corte completamente la corriente desconectando el cable eléctrico de la unidad o desenchúfela de la toma de pared. Antes de realizar actividades de mantenimiento, desconecte la unidad.

Los derrames deben eliminarse inmediatamente en cuanto se enfríe la unidad. NO sumerja la unidad para limpiarla. Los derrames de álcalis, de ácido hidrofúorico o de ácido fosfórico podrían dañar la unidad y producir un fallo térmico.



¡PRECAUCIÓN! La placa superior puede alcanzar 500 °C. NO toque la superficie caliente. Preste atención en todo momento. Mantenga la unidad alejada de vapores explosivos y retire los papeles, paños y demás materiales inflamables. Mantenga el cable alejado de la placa de calentamiento (unidades de calentamiento sólo).

NO utilice la unidad a temperaturas elevadas sin un recipiente sobre la placa superior.

¡ADVERTENCIA! Las unidades NO están diseñadas a prueba de explosión. Tenga cuidado cuando caliente materiales volátiles.

Sustituya la superficie cerámica inmediatamente si está dañada. Una superficie dañada puede romperse mientras se esté utilizando (unidades con superficie cerámica sólo).

NO opere la unidad si muestra signos de daños eléctricos o mecánicos.



Tierra - Terminal conductor protector

Corriente alterna

Normas y regulaciones

VWR International declara bajo su exclusiva responsabilidad que los productos cumplen con los requisitos de las siguientes directivas y estándares asociados.

Directivas de la UE Asociadas:

Directiva EMC 2014/30/EU

Directiva LVD 2014/35/EU

Directiva ROHS 2011/65/EU

Directiva WEEE 2012/19/EU

Estándares de seguridad:

EN 50581 (se aplica a todos)

EN 60101-1 (No se aplica al agitador de gran capacidad y al agitador de velocidad lenta)

IEC 61010-1 (sólo para agitador de gran capacidad y agitador de velocidad lenta)

EN 61010-2-051 (Se aplica sólo al agitador de placa de cocción profesional y agitadores de plancha estándar / avanzado)

IEC 61010-2-051 (Se aplica únicamente al agitador de gran capacidad y al agitador de velocidad lenta)

EN 61010-2-010 (No se aplica al agitador de velocidad lenta y al agitador de gran capacidad)

Estándares EMC:

EN 61326-1 (Aplicable a todos)

C. GPS VISTA HCx eTrex

Certificado de Conformidad del GPS VISTA HCx eTrex

Software License Agreement

BY USING THE eTrex, YOU AGREE TO BE BOUND BY THE TERMS AND CONDITIONS OF THE FOLLOWING SOFTWARE LICENSE AGREEMENT. PLEASE READ THIS AGREEMENT CAREFULLY.

Garmin grants you a limited license to use the software embedded in this device (the “Software”) in binary executable form in the normal operation of the product. Title, ownership rights, and intellectual property rights in and to the Software remain in Garmin.

You acknowledge that the Software is the property of Garmin and is protected under the United States of America copyright laws and international copyright treaties. You further acknowledge that the structure, organization, and code of the Software are valuable trade secrets of Garmin and that the Software in source code form remains a valuable trade secret of Garmin. You agree not to decompile, disassemble, modify, reverse assemble, reverse engineer, or reduce to human readable form the Software or any part

thereof or create any derivative works based on the Software. You agree not to export or re-export the Software to any country in violation of the export control laws of the United States of America.

Declaration of Conformity

Hereby, Garmin declares that this product is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.

To view the full Declaration of Conformity, see the Garmin Web site for your Garmin product: www.garmin.com/products/etrexVistahcx/, www.garmin.com/products/etrexLegendhcx/, www.garmin.com/products/etrexSummithc/, www.garmin.com/products/etrexVenturehc/. Click **Manuals** and select **Declaration of Conformity**.