TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RÍO TUMBES MEDIANTE UN SISTEMA FOTOCATALITICO"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Andrea Victoria Solorzano Molina (0000-0002-2803-7388)

Asesor:

Elvito Fabian Villegas Silva (0000-0001-9783-1641)

Lima – Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 23 de abril del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Maiquel López Silva
Miembro: Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro: Mg. Jimmy Castillo Becerra

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RÍO TUMBES MEDIANTE UN SISTEMA FOTOCATALITICO"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Andrea Victoria Solórzano Molina**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dr. Elvito Fabián Villegas Silva

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (**X**) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Andrea Victoria Solórzano Molina		Nota (en letras): 16 (Dieciséis)	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (**X**)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



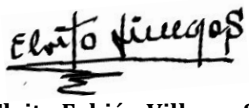
Dr. Maiquel López Silva
Presidente



Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro 1



Mg. Jimmy Castillo Becerra
Miembro 2



Dr. Elvito Fabián Villegas Silva
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 23 de agosto del 2024

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: (nombre de tesista; si hay más de un tesista, colocar todos los nombres y firmar todos), estudiante/egresado de la carrera de (nombre de la carrera) de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis (nombre del asesor), declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: (nombre de la tesis), sustentado para obtener el título/grado de (nombre) es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

Firma tesista
DNI: 73176599

Firma del asesor de tesis
DNI: 8110040

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Tratamiento de las aguas del río Tumbes mediante un sistema fotocatalítico

Autores. Andrea Victoria Solorzano Molina

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2487713043).

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Tratamiento de las aguas del río Tumbes

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	6%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	press.religacion.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	boletin.invemar.org.co Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	agronomy.it Fuente de Internet	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tratamiento De Las Aguas Del Río Tumbes Mediante Un Sistema Fotocatalítico

Andrea Victoria Solórzano Molina[1*] y Elvito Fabián Villegas Silva[2]

[1] Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

[2] Facultad de Ciencias, Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú

Resumen

El tratamiento de las aguas del río Tumbes permitió evaluar el efecto del tiempo y la cantidad de catalizador (TiO2) en un sistema fotocatalítico utilizando muestras con alta concentración de metales pesados y coliformes termotolerantes (CTT), para obtener agua para consumo humano y/o riego de cultivos. Las concentraciones del catalizador de 200 y 500 mg/L en diferentes tiempos de tratamiento 30, 60 y 90 min, permitieron obtener un alto rendimiento en el porcentaje de reducción de metales y metaloides: Al (99.86%), As (59.54%), Cd (75%), Cu (85.8%), Fe (99.43%), Mn (91.98%), Hg (83.02%), Pb (99.17%), Na (18.86%), Zn (29.89%) y CTT-totales (99.93%). De acuerdo a las pruebas estadísticas, el tiempo de tratamiento es un factor significativo para la reducción de los contaminantes evaluados, siendo distinto para cada metal y metalode: 30 minutos para As y Na; 60 minutos para Al, Fe, Pb, Cu y Zn; y 90 minutos para Cd y Mn. Como producto final se ha obtenido agua para riego de cultivos con calidad enarcada dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

Palabras clave: Aguas superficiales, río Tumbes, fotocatálisis heterogénea, metales pesados, coliformes termotolerántes, tratamiento de aguas, Dióxido de Titanio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Abstract

The treatment of water from the Tumbes river made it possible to evaluate the effect of time and the amount of catalyst (TiO_2) in a photocatalytic system using samples with high concentrations of heavy metals and thermotolerant coliforms (TtC), in order to obtain water for human consumption and/or crop irrigation. The catalyst concentrations of 200 and 500 mg/L in different treatment times of 30, 60 and 90 min, allowed a high yield to be obtained in the percentages of reduction of metals and metalloids: Al (99. 86%), As (59.54%), Cd (75%), Cu (85.8%), Fe (99.43%), Mn (91.98%), Hg (83.02%), Pb (99.17%), Na (18.86%), Zn (29.89%) and TtC-totals (99.93%). According to the statistical tests, the treatment time is a significant factor for the reduction of the pollutants evaluated, being different for each metal and metalloid: 30 minutes for As and Na; 60 minutes for Al, Fe, Pb, Cu and Zn; and 90 minutes for Cd and Mn. As a final product, water for crop irrigation has been obtained with a quality within the Environmental Quality Standards.

Keywords: Surface water, Tumbes River, heterogeneous photocatalysis, heavy metals, thermotolerant coliforms, water treatment, titanium dioxide.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

I. INTRODUCCIÓN

El río Tumbes pertenece a la cuenca transfronteriza Puyango – Tumbes que cuenta con un área total de 5530 Km^2, la cual inicia en Ecuador y es la principal fuente de abastecimiento de agua para las provincias de El Oro en Ecuador y Tumbes en Perú (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018). Este río abastece al 62% de la población de la provincia de Tumbes con agua potable, así como también ayuda al desarrollo de actividades agrícolas y acuícolas (ANA, 2012; Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017).

Estudios realizados por la Dirección Regional de Salud de Tumbes (DIRESA - Tumbes) mencionan que los sistemas de suministro de agua no cumplen los límites máximos permisibles del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, además, estudios recientes del Ministerio de Salud (MINSA) revelan que la población que consume agua del río cuenta con valores elevados de arsénico. El riego de cultivos también se realiza con las aguas río Tumbes las cuales tienen concentraciones elevadas de metales pesados y otros contaminantes afectando de manera negativa la calidad del suelo y la salud humana por bioacumulación de metales.

La ANA ha identificado 3 tipos de fuentes contaminantes antropogénicas en la cuenca Tumbes las cuales son: aguas residuales, residuos sólidos y sustancias dispuestas *in situ* (ANA, 2019). Asimismo, el río Tumbes es afectado por el vertimiento de residuos de la actividad minera ilegal ubicada en las provincias de Portovelo y Zaruma en Ecuador (Puño, 2016).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

A nivel mundial, existen distintas técnicas de remoción de metales pesados, una de ellas es la fotocatálisis heterogénea, la cual corresponde a un Proceso de Oxidación Avanzada (AOP) que genera radicales hidroxilos (OH·), caracterizados como un agente oxidante no selectivo que modifica químicamente contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua u otros medios (Velosa *et al.*, 2018). Esta técnica requiere de irradiación a una longitud de onda (λ) entre 200 – 400 nm y un catalizador que transmita esa energía al sustrato (Marzo & Martinez-Haya, 2018). El catalizador más usado es el Dióxido de Titanio (TiO_2) ya que es un compuesto inorgánico sólido y no peligroso; tiene tres fases cristalinas: rutilo, anatasa y brookita, siendo rutilo y anatasa las más efectivas en el tratamiento de aguas por el ancho de banda prohibida que presentan, 3.0 y 3.2 eV respectivamente, esta es la energía mínima necesaria para excitar electrones (Maimone *et al.*, 2015).

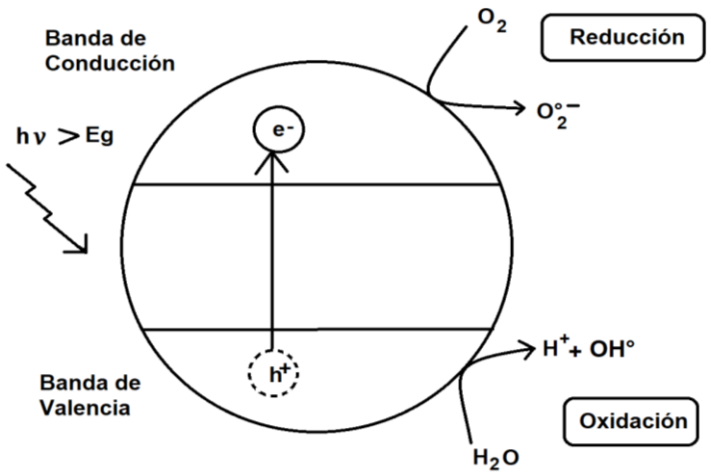


Figura 1. *Diagrama de la fotocatálisis heterogénea en una partícula del semi conductor iluminada.*

Fuente: *Adaptada de Litter M. (1999).*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Asimismo, se sugieren también tener en cuenta las variables referentes a cantidad y tipo de catalizador, pH, diseño del reactor, uso de aditivos y concentración de contaminante (Pinedo *et al.*, 2017).

El proceso fotocatalítico comienza cuando el semiconductor es fotoexcitado con energía igual o superior a la de la banda prohibida, lo que permite generar pares electrón–hueco (e-/h+). En este proceso, los electrones (e^-) pasan de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), dejando una carga positiva (h^+). Finalmente, estos pares (e-/h+), reaccionan con oxígeno y agua generando radicales como aniones superóxidos ($O_2{}^{o-}$) (Ec. 3) y radicales hidroxilos (OH°) (Ec. 2) (Figura 1), también se generan otras especies como peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (5) y iones hidrógeno (H^+) (Srinivasan & Somasundaram, 2003). La ventaja de este proceso es la capacidad de generar reacciones de reducción y oxidación, donde se obtienen iones metálicos con un estado de oxidación bajo (Chowdhury *et al.*, 2014). Las reacciones generadas son:

$$TiO_2 + hv \rightarrow TiO_2(e^-/h^+) \quad (1)$$

$$TiO_2(h^+) + H_2O \rightarrow TiO_2 + OH^o + H^+ \quad (2)$$

$$TiO_2(e^-) + O_2 \rightarrow TiO_2 + {O_2}^{o-} \quad (3)$$

$${O_2}^{o-} + H^+ \rightarrow {HO_2}^o \quad (4)$$

$${O_2}^{o-} + {HO_2}^o \rightarrow O_2 + H_2O_2 \quad (5)$$

$$TiO_2(e^-) + H_2O_2 \rightarrow TiO_2 + OH^- + OH^o \quad (6)$$

El objetivo de la investigación es Evaluar el efecto del tiempo de tratamiento y cantidad de catalizador de un sistema fotocatalítico sobre la concentración de metales pesados y coliformes presentes en las aguas del río Tumbes con el fin de obtener agua adecuada para consumo humano y/o riego de cultivos. Esto significaría un gran aporte para las tecnologías de tratamiento de aguas y para

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

el área de saneamiento, asimismo está alineada al Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 el cual tiene como meta aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y disminuir la escasez de agua.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El río Tumbes se encuentra en el departamento de Tumbes, al noreste del Perú junto a la frontera con Ecuador. Esta zona tiene clima cálido, húmedo tropical y semi seco tropical con una temperatura promedio anual de 25,3°C, además esta zona es afectada por el fenómeno de El Niño donde la temperatura aumenta a 40°C (Ministerio de Salud [MINSA], 2015). Las precipitaciones son estacionales siendo el promedio anual 426,5 mm e intensificándose cuando hay fenómeno de El Niño (Gobierno Regional Tumbes, 2017). El caudal del río depende de las precipitaciones, se incrementa entre los meses de enero a mayo, y la época de estiaje es entre los meses de junio a diciembre (ANA, 2018)

El estudio se realizó en el distrito de Tumbes, en una zona con cultivos de arroz y plátano. El río en este sector recibe vertimientos directos del sistema de alcantarillado sanitario sin tratamiento previo y concentra botaderos aledaños a su cauce, generando contaminación con carga biológica, materia orgánica e inorgánica (ANA, 2016b).

2.2 Muestreo

El punto de muestreo (Figura 2) fue tomado de acuerdo a los Informes de Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), seleccionando el de mayor relevancia para la investigación ubicado con ayuda de un GPS GARMIN modelo GPSMAP 64s (Tabla 1).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 1. *Ubicación del punto de muestreo (zona 17)*

Punto de Muestreo	Ubicación	Distrito	Provincia	Coordenadas UTM - WGS84	
				Norte	Este
1392RTumb6 (señalado en rojo)	. 1.5 km después de la caseta de bombeo de aguas servidas "Coloma"	Tumbes	Tumbes	9605607	559463

Fuente: ANA, 2016ª

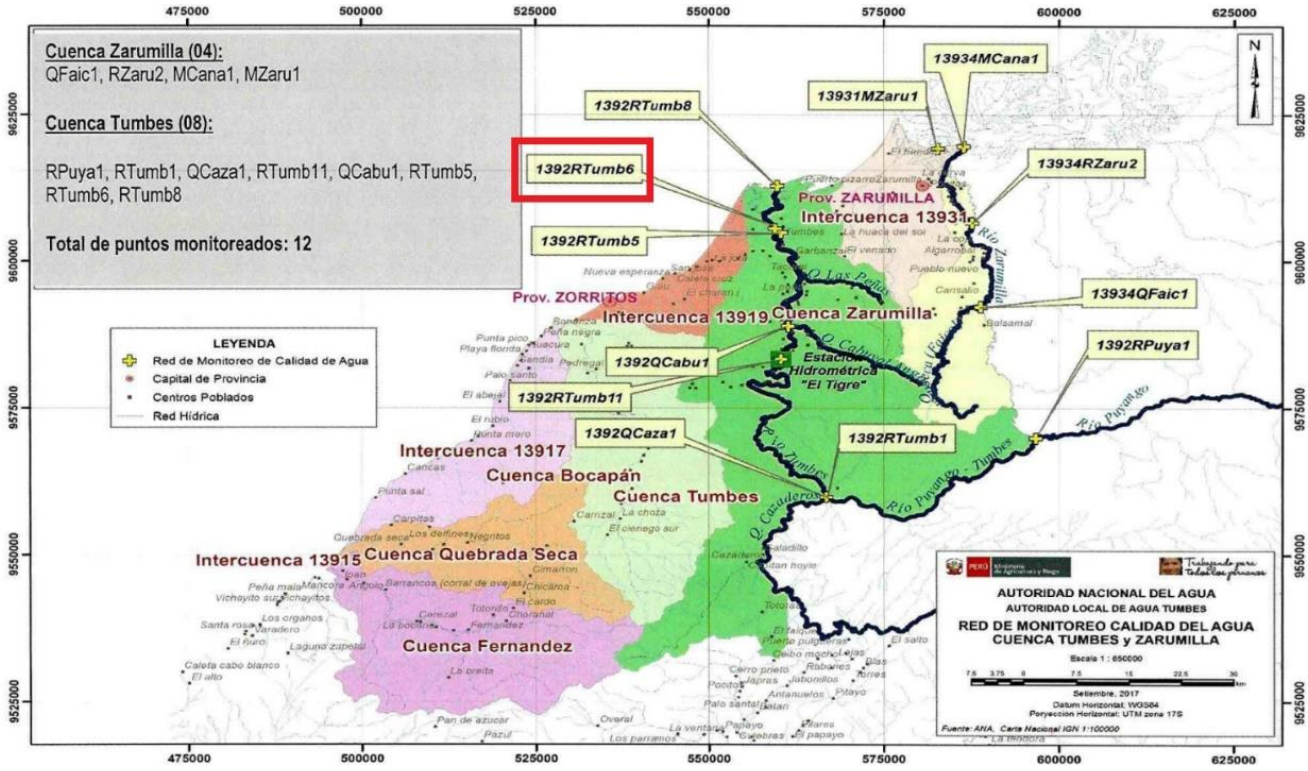


Figura 2. *Red de monitoreo de calidad del agua de la cuenca Tumbes y Zarumilla*

Fuente: *ANA (2017)*

Se tomó una muestra integrada en el punto de muestreo (Figura 2), donde se tomaron 5 muestras de 4L en simultaneo, haciendo un total de 20 litros de muestra de agua. Para la preservación de las muestras se siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA). El muestreo se efectuó en octubre del 2021, ya que es la época de menor caudal (14.5 m^3/s) y de mayor concentración

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de contaminantes de acuerdo a los Informes Anuales de Calidad de Agua Superficial de la Cuenca Tumbes.

Los parámetros cuantificados en el muestreo corresponde a pH, temperatura (T) y conductividad eléctrica (CE) de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA).

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio SGS Perú (Av. Elmer Faucett 3348, Callao) a temperatura regulada (4°C) para realizar los análisis y determinar: Sólidos Suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Termotolerantes (CTT) y Metales Totales por ICP-MS.

2.3 Tratamiento fotocatalítico

La muestra de agua al ser de fuente natural presentaba turbidez y sólidos en suspensión, los cuales interfieren en la interacción del catalizador con la luz ultravioleta, es por ello que se filtró la muestra utilizando papel filtro Whatman de 125 mm (Garcés *et al.*, 2004). Para que se dé una interacción favorable entre el contaminante y el TiO_2, se debe trabajar a un pH por debajo de su punto isoeléctrico (pH = 6.5), y considerando que el proceso fotocatalítico tiene mayor eficiencia en medio ácido, se realizó la modificación a pH 2 con ácido clorhídrico 0.1 M mediante goteo y agitación (Valencia *et al.*, 2011; Gálvez *et al.*, 2001).

La operatividad del sistema fotocatalítico utilizó un foco UV-C de 254 nm, insertado dentro de una cabina cubierta internamente con aluminio para una mejor dispersión de los rayos UV-C en la muestra experimental. En el interior de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

la cabina se instaló el agitador electromagnético CIMAREC con un vaso de precipitado de 1.0 L utilizando como catalizador el TiO_2 (Figura 3).

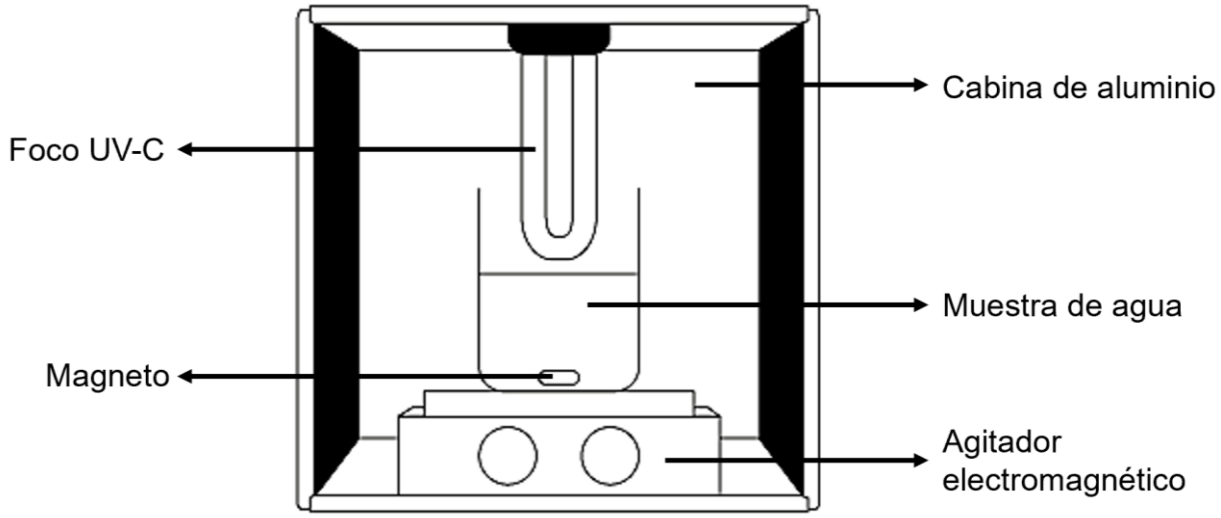


Figura 3. *Gráfico del sistema fotocatalítico utilizado*

2.4 Diseño Experimental

Se realizó el tratamiento con una muestra control (sin catalizador) y dos concentraciones distintas de TiO_2 (Anatasa al 99.2% de pureza) (Tabla 2) ubicadas de manera libre en las muestras, y el tratamiento se realizó durante 30, 60 y 90 minutos (Tabla 3).

Tabla 2. *Concentración de Dióxido de Titanio*

Concentración	Referencia
200 mg/L	Gálvez *et al.* (2001)
500 mg/L	Pinedo *et al*. (2017)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los resultados de las mediciones se compararon con los del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA) y el Estándar de Calidad Ambiental para agua (ECA) de la categoría 3 subcategoría D1 (DS N°004-2017-MINAM) que consiste en agua para riego de cultivos vegetales, con la finalidad de evaluar si el agua del río Tumbes cumple con la normativa correspondiente. Finalmente se determinó las concentraciones de metales totales y coliformes termotolerantes después del tratamiento. La disolución fue analizada después de remover las partículas de TiO_2 con papel filtro Whatman de 125 mm.

Tabla 3. *Diseño experimental*

Tiempo (Minutos)	Concentración del catalizador (TiO_2)		
	DT0 (control)	DT1 (200 mg/L)	DT2 (500 mg/L)
30			
60			
90			

DT0(control): No contiene catalizador

2.5 Concentración de contaminantes

Para la determinación del porcentaje de degradación de los distintos contaminantes que se encontraron en la muestra de agua se utilizó la siguiente ecuación 7:

$$\%\ Degradación = \frac{C0 - Cf}{C0} \times 100 \qquad (7)$$

Donde C_0 es la concentración inicial del contaminante y C_f es la concentración final (Mueses *et al.*, 2008).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

2.6 Análisis de datos

Se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk para la determinación de la distribución de los datos y la prueba de homogeneidad mediante la prueba de Levene para analizar la varianza entre los grupos. Adicionalmente, se realizó la prueba de efectos Inter-sujetos para determinar la interacción que tienen las variables independientes en el proceso de fotocatálisis heterogénea, y para determinar las diferencias entre los grupos de variables se realizó la prueba de Tukey Post-hoc para comparaciones múltiples. Se consideró un nivel de confianza del 95%, y se aplicó el mismo procedimiento de interacción para cada metal pesado y factores biológicos del agua. Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics, versión 23.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización de las muestras de agua

Los parámetros fisicoquímicos en la investigación se evaluaron considerando la CE como indicador de la concentración de iones disueltos en el medio acuoso, presentando una dependencia lineal con la concentración de metales (Prieto *et al.* 2001). Asimismo, se consideraron la DBO y DQO por ser indicadores de nivel de contaminación en fuentes de agua (Gálvez *et al*., 2001). Los resultados de estas tres variables mostraron niveles bajos en comparación a los resultados de los informes anuales de la ANA entre el 2011 al 2021, eso es debido a que la contaminación es fluctuante y dependiente de la cantidad de factores y actividades que se realicen en la cuenca (Anexo 1).

La evaluación de parámetros microbiológicos y metales totales, de los cuales: Al, Fe y Na superaban el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA): As, Mn, Pb, Hg y CTT superaban los límites de ambas normativas mostradas en la Tabla 4; siendo As, Pb, Fe y Hg un subproducto de relaves de la minería informal de la parte alta de la cuenca transfronteriza, el Al es un producto de los relaves de las plantas de beneficio en Ecuador (Oviedo-Achundia *et al*., 2017; ANA, 2021). Respecto a las altas cantidades de Mn y CTT, se asocian al vertimiento de aguas residuales industriales y/o municipales según lo registrado en la Actualización de la Identificación de Fuentes Contaminantes en la Cuenca Tumbes (ANA, 2019), y la elevada concentración de Na se presenta por los vertimientos de agua residual, escorrentía de terrenos agrícolas o lixiviaciones (ANA, 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 4. *Caracterización de la muestra de agua del río Tumbes*

Parámetros	Unidades	ECA agua (Categoría 3)	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano	Resultados del muestreo
		FISICOQUIMICOS		
T	(C°)	-	-	26.4
pH		-	-	7.81
CE	(mS/cm)	-	-	15
DBO	mg/L	15	-	<2.6
DQO	mg/L	40	-	5
Sólidos Suspendidos	mg/L	-	1000	91
		MICROBIOLÓGICOS		
CTT	NMP/100mL	1 000	< 1,8	2400
		METALES TOTALES		
Al	mg/L	5	0.2	2.165
As	mg/L	0.1	0.01	0.100
Cd	mg/L	0.01	0.003	0.001
Cu	mg/L	0.2	2	0.067
Fe	mg/L	5	0.3	3.289
Mn	mg/L	0.2	0.4	1.019
Hg	mg/L	0.001	0.001	0.001
Pb	mg/L	0.05	0.01	0.072
Na	mg/L	-	200	1359.228
Zn	mg/L	2	3	0.100

3.2 Degradación de los contaminantes

Los resultados obtenidos después de los tratamientos demostraron que hubo una disminución de las concentraciones de los iones metálicos y CTT en las muestras (Tabla 5). La mayor disminución se dio en los siguientes

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

contaminantes: Al (99.86%), Fe (99.43%), Pb (99.17%), Hg (83.02%) y CTT (99.93%). Para metaloides y metales como As, Cd, Cu y Mn se ha observado una reducción comprendida entre 30% - 90% en las muestras evaluadas, el Na tuvo una reducción entre 3% a 18%, y Zn se puede observar que en ciertos periodos del tratamiento obtuvo resultados negativos los cuales indican que hubo un incremento en sus concentraciones.

Tabla 5. *Porcentajes de disminución de contaminantes*

Concentración de TiO_2	**DT0**			**DT1**			**DT2**		
Tiempo (minutos)	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**
Al (%)	99.02	99.47	99.41	99.27	99.86	96.99	98.57	99.86	98.64
As (%)	51.88	47.29	46.06	59.54	53.46	46.08	58.41	57.60	51.42
Cd (%)	64.20	63.64	72.73	67.05	68.75	71.97	64.49	71.59	75.00
Cu (%)	66.53	85.80	44.24	66.60	83.31	50.72	68.41	85.34	54.70
Fe (%)	98.65	99.05	93.04	98.81	99.37	96.34	98.35	99.43	98.25
Mn (%)	37.71	32.02	90.57	37.49	32.35	91.72	33.19	33.46	91.98
Hg (%)	83.02	83.02	83.02	83.02	83.02	83.02	83.02	83.02	83.02
Pb (%)	97.65	98.82	94.83	98.65	99.17	94.67	97.02	99.17	97.26
Na (%)	18.86	10.60	–0.84	18.59	9.48	0.33	15.83	10.98	3.31
Zn (%)	–36.41	23.02	–6.69	–32.47	26.10	–10.08	-21.89	29.89	–7.27
CTT-totales (%)	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93

DT0: Control; DT1: 200 mg/L; DT2: 500 mg/L

3.3 Condiciones ideales del tratamiento

La evaluación estadística se realizó por cada variable dependiente, donde todos los grupos analizados presentaron una distribución normal, y se evaluaron las variables independientes Tiempo y Cantidad de TiO_2 en el proceso fotocatalítico.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El resultado de las pruebas de intersujetos reveló que el Tiempo tiene mayor significancia en el proceso fotocatalítico para la reducción de la mayoría de metales evaluados (Tabla 6). Estos resultados coinciden con Guarín y Mera (2011) donde el tiempo tuvo un efecto predominante y lineal a la cantidad de TiO_2 en la reducción de desechos químicos, asimismo, Muñoz y Palomino (2019) determinaron que la variable tiempo también es significativa en la reducción de contaminantes en aguas residuales, contrario a la significancia de la concentración de TiO_2 y la interacción entre ambas variables.

El Al tuvo un resultado distinto ya que es el único ion metálico que muestra una interacción favorable entre ambas variables independientes para la reducción de su concentración. En el caso de los CTT y Hg, el Tiempo y la Concentración de TiO_2 no fueron determinantes para su disminución ya que el porcentaje de disminución fue el mismo en todos los tratamientos realizados (Tabla 5).

Tabla 6. *Prueba de Intersujetos para metaloide y metales*

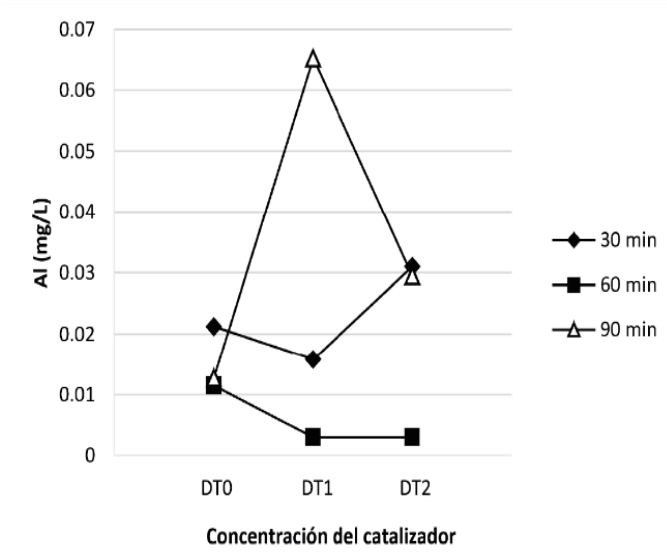
Interacción	Sig.								
	Al	As	Fe	Mn	Pb	Na	Zn	Cu	Cd
Concentración (mg/L)	0.318	0.000	0.086	0.829	0.696	0.883	0.746	0.825	0.685
Tiempo (min)	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Concentración * Tiempo	0.028	0.120	0.076	0.483	0.332	0.207	0.980	0.967	0.165

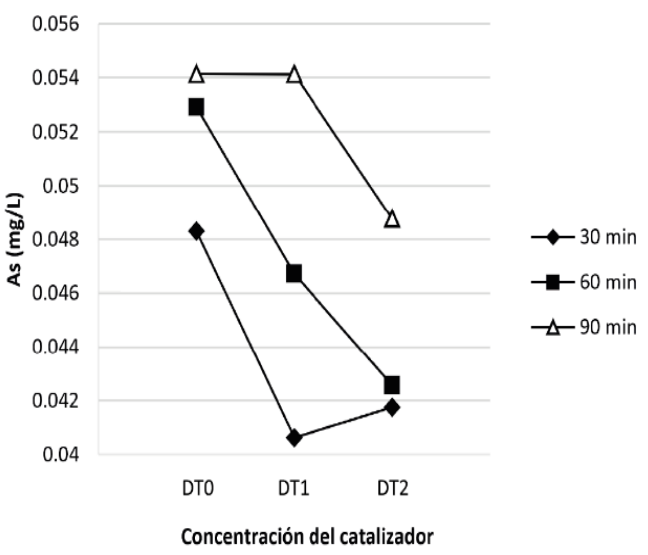
De acuerdo a los resultados de las pruebas Post – hoc y los gráficos obtenidos (Figura 4), la mayor reducción de diferentes metales pesados se presentó a los 60 minutos (Fe, Al, Pb, Cu, Zn), coincidiendo con la investigación de Guarín & Mera (2011) donde el tiempo óptimo fue a los 60 minutos para obtener la fotoreducción más eficiente de iones metálicos en

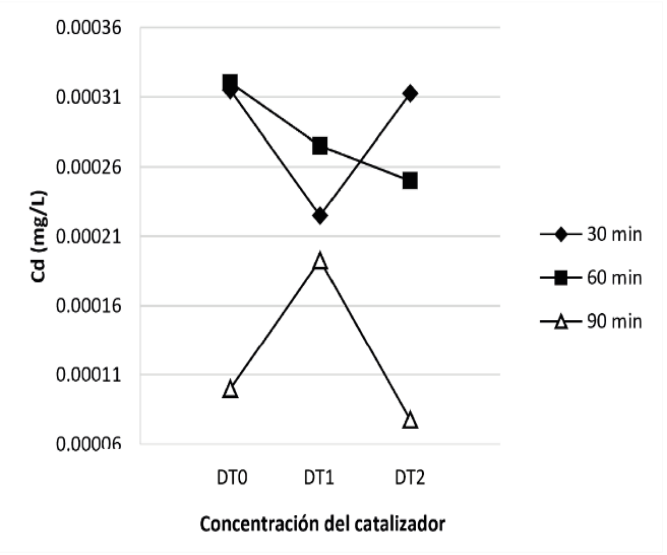
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

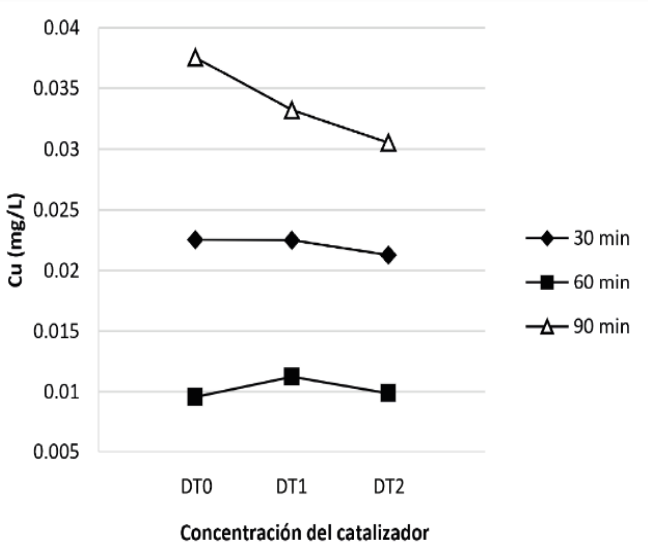
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

residuos acuosos. El Cd y Mn tuvieron un mejor desempeño a los 90 minutos de tratamiento, y As y Na a los 30 minutos. Respecto a la cantidad más efectiva de TiO_2 para tener un mayor porcentaje de reducción, fue distinta para cada contaminante evaluado: As en el tratamiento DT1 (200mg/L de TiO_2); Fe, Zn, Cd, Mn en el tratamiento DT2 (500 mg/L de TiO_2); Al y Pb tuvieron la misma reducción con ambas cantidades de catalizador; Na y Cu tuvieron un mejor desempeño en el tratamiento control.









Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

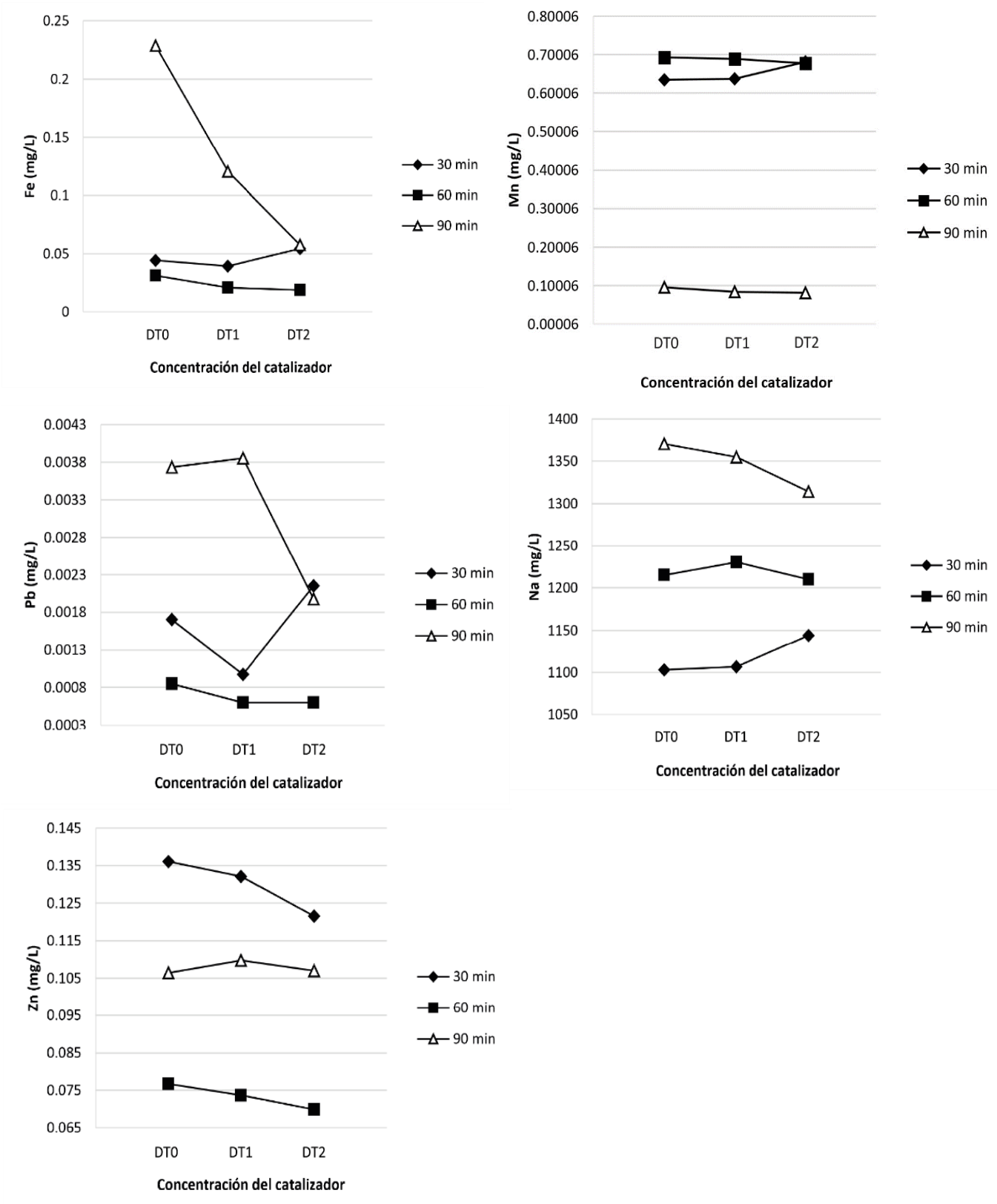


Figura 4. *Desempeño de los contaminantes durante los distintos tratamientos de fotocatálisis heterogénea.*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

3.4 Comparación con las normativas nacionales

De acuerdo con los resultados obtenidos después del tratamiento fotocatalítico, la mayoría de los parámetros evaluados redujeron sus concentraciones iniciales cumpliendo con las normativas nacionales (ECA Agua Categoría 3 y el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano) (Tabla 7). Este fue el caso de los CTT, Pb, Al, Fe y Hg, los cuales después del tratamiento cumplieron con los estándares establecidos por ambas normativas. En el caso del As, hubo una reducción en las muestras de agua, sin embargo, no llegó a cumplir los límites del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA). El Cd, Cu y Zn no excedían las normativas, sin embargo, los dos primeros después del tratamiento disminuyeron sus valores. El Zn aumentó sus valores en algunos tratamientos, a pesar de ello, aún cumplía con las normativas. Finalmente, los resultados del Mn cumplieron con las normativas exclusivamente en el tratamiento de 90 minutos, y Na después del tratamiento no llegó a cumplir los estándares de las normativas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 7. Resultados del tratamiento fotocatalítico

Parámetros	ECA (Categoría 3)	Reglamento de calidad de agua para consumo humano	Inicio	DT0*			DT1*			DT2*			Unidades
				30	60	90	30	60	90	30	60	90	
CTT	1000	< 1,8	2400	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	NMP/100mL
Al	5	0.2	2.165	0.021	0.012	0.013	0.016	0.003	0.065	0.031	0.003	0.029	mg/L
As	0.1	0.01	0.1	0.048	0.053	0.054	0.041	0.047	0.054	0.042	0.043	0.049	mg/L
Cd	0.01	0.003	0.001	0.0003	0.0003	0.0001	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.00008	mg/L
Cu	0.2	2	0.067	0.022	0.009	0.038	0.022	0.011	0.033	0.021	0.009	0.031	mg/L
Fe	5	0.3	3.289	0.044	0.031	0.229	0.039	0.021	0.12	0.054	0.019	0.058	mg/L
Mn	0.2	0.4	1.019	0.635	0.693	0.096	0.637	0.689	0.084	0.681	0.678	0.082	mg/L
Hg	0.001	0.001	0.001	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	mg/L
Pb	0.05	0.01	0.072	0.0017	0.0009	0.0037	0.0009	0.0006	0.0039	0.0022	0.0006	0.0019	mg/L
Na	-	200	1359.23	1102.85	1215.14	1370.71	1106.57	1230.33	1354.7	1144.09	1209.97	1314.23	mg/L
Zn	2	3	0.1	0.136	0.077	0.106	0.132	0.074	0.109	0.122	0.069	0.107	mg/L

**Media de los resultados por cada tratamiento*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IV. DISCUSIÓN

En el proceso fotocatalítico, los pares electrón-hueco (e-/h+) son los que llevan a cabo la reducción u oxidación de los contaminantes, los foto-electrones (e^-) se dirigen a los analitos aceptores (reacción de reducción) y los huecos foto-generados (h^+) a los donantes (reacción de oxidación) (Azimi *et al.*, 2017). La disminución de concentración de metales pesados implica reacciones de reducción, involucrando una ganancia de electrones o una pérdida de oxígeno para disminuir el número de oxidación del elemento iónico, como se observa en la ecuación 8 (Chowdhury *et al.*, 2014).

$$M^{n+} + e^- \rightarrow M^{(n-1)+} \quad (8)$$

Para ejemplificar el proceso de reducción de metales se consideró al mercurio, el cual es un componente muy tóxico en concentraciones bajas y es un contaminante presente en las aguas del río Tumbes. La reducción de este ion ocurre en 2 pasos continuos para poder realizar correctamente la transferencia de los electrones mostrados en las ecuaciones 10 y 11 (Botta *et al.*, 2002).

Oxidación del agua generando fotoelectrones:

$$H_2O_{(l)} + hv/TiO_2 \rightarrow 2O_{2(g)} + 2H^+{}_{(ac)} + 2e^- \quad (9)$$

Reducción del mercurio por etapas:

$$Hg^{2+}{}_{(ac)} + e^- \rightarrow Hg^+{}_{(ac)} \quad (10)$$

$$Hg^+{}_{(ac)} + e^- \rightarrow Hg^0{}_{(s-ads)} \quad (11)$$

Ecuación total de la reducción fotocatalítica del mercurio (Chowdhury et al., 2014):

$$Hg^{2+}{}_{(ac)} + H_2O_{(l-hv/TiO_2)} \rightarrow 2H^+{}_{(ac)} + 2O_{2(g)} + Hg^0{}_{(s-ads)} \quad (12)$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

La tendencia hacia una mayor reactividad fotocatalítica también dependerá del nivel redox que tenga cada metal. La figura 5 muestra la posición de las bandas de conducción y de valencia del TiO_2 con los niveles redox de los metales evaluados. Hay una tendencia hacia una mayor reactividad fotocatalítica, que corresponde a una tendencia favorable para aceptar electrones (proceso de reducción), con aquellos metales con un potencial de reducción estándar positivo (Hg^{2+}), contrario a los iones metálicos con potenciales de reducción estándar negativos (Na^{+}), los cuales son más complejos de disminuir, predominado sus concentraciones durante el tratamiento (Rajeshwar *et al.*, 2002).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

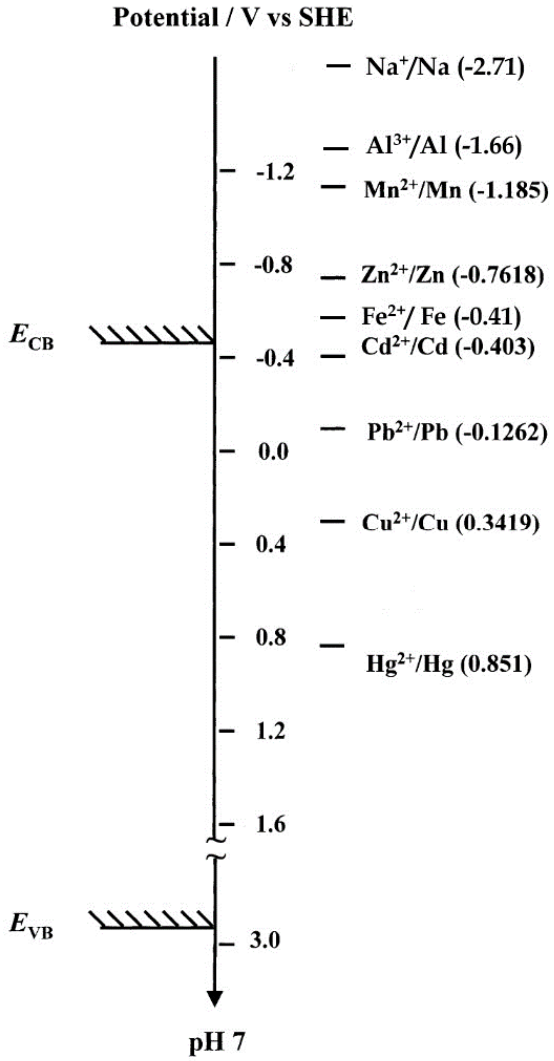


Figura 5. *Disposición relativa de los límites de la banda de conducción y de valencia del TiO_2 y los niveles de energía redox de los metales de interés de la investigación.*

Asimismo, la variación de otros factores como el tipo de catalizador, tiempo de tratamiento y pH del medio beneficiarán la eficiencia de la fotocatalisis dependiendo del contaminante (Tabla 8).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 8. *Fotocatálisis como método para eliminar metales y metaloides*

Especie	Condiciones				% de remoción	Ref.
	Tiempo (Min)	pH	Catalizador			
			Tipo	Cant.		
$(Al(NO_3))_3$	240	4	TiO_2	5 g/L	71.9	Popugaeva *et al.*, 2019
As^{3+}	35	3	TiO_2	0.25 g/L	99	Lopez-Muñoz *et al.*, 2017
Cd^{2+}	80	6	TiO_2	0.2 g/L	98	Sharma *et al.*, 2017
Cu^{2+}	300	4	TiO_2, H_2O_2, Ácido Cítrico	2g/L, 0.06 g/L, 0.06 g/L	99.87	Thakur *et al.*, 2014
Fe^{3+}	65	7	TiO2 y 4-NP	2g/L	100	Chen & Ray, 2001
Mn^{2+}	160	7	TiO_2, HCOONa	2g/L, 0.05M	100	Ming *et al.,* 2002
Hg^{2+}	65	7	TiO_2 y 4-NP	2g/L	70	Chen & Ray, 2001
Pb^{2+}	120	7	TiO_2	0.9 g/L	99.1	Rahimi *et al.*, 2013
Zn^{2+}	300	7	TiO_2, H_2O_2	2 g/L, 0.06 g/L	100	Thakur *et al.*, 2014

Durante los tratamientos fotocatalíticos se observó una baja reducción del Na, esto puede deberse a la naturaleza de este metal liviano el cual se encuentra disponible en el agua como ion (Na^+), por reducción pasa a sodio metálico ($Na_{(s)}$), pero reacciona inmediatamente con el agua pasando nuevamente a ion, como vemos en la Ec.8, dificultando la disminución de su concentración en las muestras evaluadas (Bloomfield, 2001):

$$Na_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Na^+{}_{(ac)} + (OH)^-{}_{(ac)} + {}^1/_2\, H_{2(g)} + energía \qquad (13)$$

De la misma forma ocurre en la reducción del Zn ya que tienen una alta solubilidad en medios ácidos (Fu & Wang, 2011)

La disminución casi total de los CTT en todos los tratamientos se debe a que son organismos sensibles a la luz UV-C, demostrando que esta metodología

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

es eficiente para su eliminación disminuyendo favorablemente el nivel de contaminación (Alva-Araujo *et al.*, 2021).

En el caso del Hg, el porcentaje de disminución fue el mismo en todos los tratamientos realizados. En la investigación de Berkovic (2012) se obtuvo también una alta disminución del Hg^{2+}(99.8%) trabajando en un medio liquido a pH ácido. Otro factor importante es que Hg^{2+} tiene una fuerte adsorción en el catalizador utilizado (TiO_2) (Thakur *et al.,* 2014).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

V. CONCLUSIÓN

La evaluación del efecto del tiempo de tratamiento y la cantidad de catalizador de un sistema fotocatalítico sobre la concentración de metales pesados y coliformes termotolerantes en las aguas del río Tumbes, concluye que estos factores tienen un efecto reductor sobre los contaminantes, obteniendo agua con calidad para riego de cultivos.

Los resultados de la caracterización inicial de metales pesados y coliformes termotolerantes en el agua del río Tumbes indicaron niveles elevados en As, Pb, Fe, Al, Na, Mn, Hg y CTT, demostrando que no era apta para riego de cultivos y/o consumo humano de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental para agua (DS N°004-2017-MINAM) y al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).

Después de analizar el tiempo de exposición en el sistema fotocatalítico, se evidencia que tuvo un efecto significativo en la reducción de las variables evaluadas. El periodo de 60 minutos mostró el mejor porcentaje de reducción para la mayoría de los metales evaluados (Al, Fe, Pb, Cu y Zn), no obstante, se observó que metales como As y Na mostraron una mayor reducción a los 30 minutos, mientras que Cd y Mn a los 90 minutos. Por otro lado, la evaluación de la cantidad de catalizador del sistema fotocatalítico reveló que no tiene un efecto significativo sobre la reducción de los metales pesados y coliformes termotolerantes evaluados, sin embargo, el tratamiento de 500 mg/L de TiO_2 tuvo mejores resultados en la mayoría de metales.

El tratamiento del agua presenta indicadores que no corresponden a los estándares de la normativa para agua de consumo humano, tiende a acumular

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

As y Na. Dichas concentraciones de metales y metaloides cumplen con los estándares establecidos para aguas de riego de cultivos. Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de sistemas fotocatalíticos como una nueva tecnología para el tratamiento del agua del río Tumbes para actividades agrícolas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

VI. RECOMENDASIONES

- Para utilizar a gran escala este tratamiento, se recomienda neutralizar el pH con carbonato de calcio, oxido de calcio o cal viva. Una buena opción sería usar cascarilla de arroz (silicio), teniendo en cuenta que la región es productora de arroz y es un residuo que no es usado actualmente con esos fines.
- Para la captura de los iones metálicos que quedan en el medio acuoso, después del tratamiento fotocatalítico se puede pasar a través de una manga de carbón activado de cascarilla de arroz la cual es un buen absorbente de iones metálicos.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones con mayor variación en las condiciones de tratamiento (pH, cantidad de catalizador, tiempo) y de esta manera precisar las condiciones ideales para el tratamiento de las aguas del río tumbes para consumo humano y riego de cultivos.
- Se recomienda realizar investigaciones con luz solar natural para realizar una comparación de la eficiencia del procedimiento en esas condiciones.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alva-Araujo, J., García-Hernández, M., Morales, A. & Rodríguez-Vásquez, R. (2021). Assessment of a Photoreactor with Inmobilized Nanoparticle TiO2 Films for the Purification of Rainwater. *Environmental and Earth Sciences Research Journal, 8*(2), 81-85. Doi:10.18280/eesrj.080203

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012). *Diagnóstico De Cultura Del Agua - Cuenca río Tumbes*.

Autoridad Nacional del Agua. (2016a). *Informe de identificación de fuentes contaminantes en el ámbito de la administración local de agua Tumbes. Piura*.

Autoridad Nacional del Agua. (2016b). *Informe del segundo monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla.*

Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Informe técnico del segundo monitoreo de la calidad de agua superficial de las cuencas del rio Tumbes y Zarumilla.*

Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Diagnóstico de la Calidad del Agua de la Unidad Hidrográfica Tumbes. Lima.*

Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Informe de Identificación de Fuentes Contaminantes en la Cuenca Tumbes.*

Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Monitoreo De Calidad De Los Recursos Hídricos Superficiales En La Unidad Hidrográfica 1394 – Cuenca Tumbes Año 2021.*

Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., & Ansarpour, M. (2017). Removal of Heavy

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Reviews, 4*(1), 37–59. doi:10.1002/cben.201600010

Berkovic A. (2012). Estudio experimental y teórico de la interacción de Hg^{2+} con la materia orgánica disuelta y de métodos fotoquímicos de reducción de Hg^{2+} (Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Planta). Repositorio Institucional de la UNLP. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2761

Gálvez, J., Rodríguez, S., Gasca, C., Bandala, E., Gelover, S. & Leal, T. (2001). Purificación de aguas por fotocatálisis heterogénea: estado del arte. 51–76

Bloomfield M. (2001). *Química de los organismos vivos*. Editorial LIMUSA S.A.

Botta, S., Rodríguez, D., Leyva, A., & Litter, M. (2002). Features of the transformation of HgII by heterogeneous photocatalysis over TiO_2. *Catalysis Today, 76*(2), 247–258. doi:10.1016/s0920-5861(02)00223-7

Chen, D., & Ray, A. (2001). Removal of toxic metal ions from wastewater by semiconductor photocatalysis. *Chemical Engineering Science, 56*(4), 1561–1570. doi:10.1016/s0009-2509(00)00383-3.

Chowdhury, P., Elkamel, A. & Ray, A. (2014). Chapter 2: Photocatalytic Processes for the removal of toxic metal ions. *Heavy Metals in Water: Presence, Removal and Safety.* 25-43. https://doi.org/10.1039/9781782620174-00025

Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management, 92*(3), 407–418. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.011

Garcés, L., Mejía, E. & Santamaría, J. (2004). La fotocatálisis como alternativa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación, 1*(1), 83–92.

Gobierno Regional Tumbes. (2017). *Plan De Desarrollo Regional Concertado De Tumbes 2017-2030.*

Guarín, C. & Mera, A. (2011). Fotocatálisis heterogénea con TiO_2 para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 10*(19), 79-88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242011000200008

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Compendio Estadístico Tumbes 2017.*

Litter, M. (1999). Heterogeneous photocatalysis Transition metal ions in photocatalytic systems. *Applied Catalysis B: Environmental, 23*(2-3), 89–114. doi:10.1016/s0926-3373(99)00069-7

López-Muñoz, M., Arencibia, A., Segura, Y. & Raez, J. (2017). Removal of As(III) from aqueous solutions through simultaneous photocatalytic oxidation and adsorption by TiO 2 and zero-valent iron. *Catalysis Today, 280,* 149–154. doi:10.1016/j.cattod.2016.05.043

Maimone A., Camero S. & Blanco S. (2015). Caracterización del óxido de titanio obtenido mediante tratamiento térmico y anodizado electroquímico. *Revista de la facultad de Ingeniería U.C.V., 30*(1), 189-200. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652015000100019&script=sci_abstract

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Marzo, L. & Martinez-Haya R. (2018). Breve introducción a la fotocatálisis homogénea: modos de activación y aplicaciones sintéticas. *Anales de Quimica, 114*(3), 141-148. http://hdl.handle.net/10251/122226

Ming, Y., Chenthamarakshan, C. R., & Rajeshwar, K. (2002). Radical-mediated photoreduction of manganese(II) species in UV-irradiated titania suspensions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 147*(3), 199–204. doi:10.1016/s1010-6030(01)00624-4.

Ministerio de Salud (MINSA). (2017). *Plan de acción para la ampliación de la emergencia sanitaria por riesgo elevado de incremento de las enfermedades y epidemias y afectación ed la continuidad operativa de los servicios de salud como consecuencias de las lluvias e inundaciones en la región de Tumbes.*

Ministerio de salud. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. DS N°031-2010-SA*

Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*.

Mueses, M., Colina-Márquez J. & Machuca-Martínez F. (2008). Degradación fotocatalítica de ácido dicloroacético al aplicar un campo de radiación de baja energía. *Ingeniería & Desarrollo, 24*, 33-47. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612008000200004

Muñoz, Y. & Palomino, S. (2019). Influencia de la concentración de TiO2 y tiempo de tratamiento en la degradación de las agua residuales de camal por fotocatalisis heterogenea (Tesis de titulación, Universidad Nacional del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Centro del Perú). Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5054

Oviedo-Anchundia, R., Moina-Quimí, E., Naranjo-Morán, J. & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura, 2(4),* 437-441. DOI. 10.21931/RB/2017.02.04.5

Pinedo,J., Marrugo, S., Enamorado, G., Urango, I. & Marrugo, J. (2017). Optimización del pH y la concentración de TiO_2 para la remoción de mercurio en un sistema fotocatalítico de recirculación iluminado con lámparas UV. *Ingeniería y Desarrollo, 35*(2), 305-319. http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10161.

Popugaeva, D., Manoli, K., Kreyman, K. & Ray A.(2019). Removal of aluminum from aqueous solution by adsorption on montmorillonite K10, TiO2, and SiO2: kinetics, isotherms, and effect of ions. *Adsorption 25(1)*,1575–1583. https://doi.org/10.1007/s10450-019-00141-2

Prieto, F., Barrado, E., Vega, M., & Deban, L. (2001). Mesurement of Electrical Conductivity of Wastewater for Fast Determination of Metal Ion Concentration. *Russian Journal of Applied Chemistry, 74*(8), 1321–1324. doi:10.1023/a:1013710413982

Puño, N. (2016). Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del río Puyango - Tumbes. *Revista de Investigación Científica, 13*(2), 53–61. http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2016.016

Rahimi, S., Ahmadian, M., Barati, R., Yousefi, N., Moussavi, S., Rahimi, K., Reshadat, S., Ghasemi, S., Gilan, N. & Fatehizadeh, A. (2014).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Photocatalytic removal of cadmium (II) and lead (II) from simulated wastewater at continuous and batch system. *International Journal of Environmental Health Engineering*, *3*(1), 31. doi: 10.4103/2277-9183.139756

Rajeshwar, K., Chenthamarakshan, C., Ming, Y., & Sun, W. (2002). Cathodic photoprocesses on titania films and in aqueous suspensions. *Journal of Electroanalytical Chemistry, 538-539*, 173–182. doi:10.1016/s0022-0728(02)00902-6

Sharma M., Choudhury D., Hazra S. & Basu S. (2017). Effective removal of metal ions from aqueous solution by mesoporous MnO2 and TiO2 monoliths: Kinetic and equilibrium modelling. *Journal of Alloys and Compounds, 720,* 221-229. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.05.260.

Srinivasan C. & Somasundaram N. (2003). Bactericidal and detoxification effects of irradiated semiconductor catalyst , TiO_2. *Current Science. 85*(10),1431 - 1438.

Thakur, R. S., Chaudhary, R., & Singh, C. (2014). Influence of pH on photocatalytic reduction, adsorption, and deposition of metal ions: speciation modeling. *Desalination and Water Treatment, 56*(5), 1335–1363. doi:10.1080/19443994.2014.944222

Valencia, S., Marin, J., & Restrepo, G. (2011). Efecto del Ph en la Degradacióon Fotocatalítica de Materia Orgánica Natural. *Información Tecnalógica. 22*(5),57-66. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000500008

Velosa P., Loaiza A., Quiñones C. (2018). Photocatalytic degradation of hydrocarbons present in water using Fe (III) modified TiO_2. *CT&F – Ciencia,*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tecnología y Futuro. 9(1). 105-109. https://doi.org/10.29047/01225383.156

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ANEXOS

Anexo 1. *Data histórica de Informes de monitoreos Anuales en época de Estiaje de la Autoridad Nacional del Agua*

Parámetros	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Temperatura (C°)	33.9	-	-	27.4	31.5	28.4	23.6	28.65	25.18	27
Ph	7.48	7.78	7.32	7.5	7.25	7.778	7.802	7.56	7.61	8.025
CE (mS/cm)	302	354	518	508	568	380	433	775.8	210.6	205.1
DBO (mg/L)	2	6	18	2	62	7	7	0.006	2	176
DQO (mg/L)	3.2	9	141	150.1	149	16	62	30	14	5107

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

[tca] Acuse de recibo de envío

Recibidos ×

Helena Rivas López
para mí

3:47 p.m. (hace 1 hora)

Andrea Victoria Solórzano Molina:

Gracias por enviar el manuscrito, "Tratamiento de las aguas del río Tumbes mediante un sistema fotocatalítico" a Tecnología y ciencias del agua. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito: https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/authorDashboard/submission/3952
Nombre de usuario/a: andrea_solorzanom29

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Helena Rivas López

En cumplimiento con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con domicilio en Paseo Cuauhnáhuac número 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, es el responsable del tratamiento de los datos personales que nos proporcione de carácter personal a través de este medio; dichos datos serán protegidos conforme a lo dispuesto por la citada Ley y demás normatividad que resulte aplicable. Se entiende el consentimiento expreso del titular de los datos personales para utilizarlos en actividades propias de su objeto social como lo es la revista *Tecnología y ciencias del agua*. Para mayor información, lo invitamos a consultar el Aviso de Privacidad en nuestro portal https://www.gob.mx/imta/acciones-y-programas/avisos-de-privacidad-del-imta

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Constancia N° 95-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro:	**363-2018-PRE11**
Título:	**Tratamiento de las aguas del río Tumbes mediante fototocatálisis heterogénea con TiO2 y carbón activado con el fin del consumo humano**
Investigador(a):	**Andrea Victoria Solórzano Molina**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 24 de marzo del 2021**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 25 de setiembre de 2019

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR - UCSUR - Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad

Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°144-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 31 de octubre del 2019

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Evaluación Tratamiento de las aguas del rio Tumbes mediante fotocatálisis heterogénea con TiO2 y carbón activado con el fin del consumo humano**, presentado por:

- **Andrea Victoria Solórzano Molina**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Evaluación Tratamiento de las aguas del rio Tumbes mediante fotocatálisis heterogénea con TiO2 y carbón activado con el fin del consumo humano** con N° de registro: **363-2018-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Betty Soledad Peña Orocaja** como asesora para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

FACULTAD CIENCIAS AMBIENTALES
DIRECTOR ACADÉMICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CIENTÍFICA

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental