



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO
MEDIANTE FOTOCATÁLISIS CON DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DEL POBLADOR DE
CUSPANCA, HUAROCHIRÍ,
MARZO – JUNIO 2014**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

De La Cruz Quispe, Lisset Marianne

ASESOR:

Mag. Ing. Guzmán Rodríguez, Amancio

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingeniería de Conservación y Protección de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2014

DEDICATORIA

A mis padres con mucho cariño y agradecimiento por haberme dado el mejor obsequio en mi existencia, mi educación.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a mis padres por su apoyo incondicional en cada paso que he dado en mi existencia, y por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este momento y concluir una de las etapas más importantes de mi vida.

Adicionalmente les doy mis sinceras gracias a mis asesores, Dr. José Tongo y Amancio Guzmán por su valiosa guía y asesoramiento y a todas las personas que ayudaron directamente e indirectamente en la realización de éste trabajo.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Lisset De La Cruz Quispe, estudiante de X ciclo de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, identificado con código N° 2081931386, declaro que la tesis de grado titulada: Desinfección de agua para consumo humano mediante fotocátalisis con dióxido de titanio (TiO_2) para mejorar la calidad de vida del poblador de Cuspanca, Huarochirí, Marzo – Junio 2014, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan al final de los párrafos correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis de grado en mención.

Lima, 25 de Julio del 2014



Lisset De La Cruz Quispe

PRESENTACIÓN

Principalmente la investigación trata de demostrar la mejora del proceso de desinfección solar del agua, por medio de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2), para mejorar la calidad de vida del poblador de Cuspanca.

La investigación fue realizada en el pueblo de Cuspanca, perteneciente al distrito de San Antonio, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, con la finalidad de aprovechar la gran cantidad de radiación solar que hay en esta zona y aplicar el proceso de fotocátalisis con TiO_2 para desinfectar agua superficial contaminada microbiológicamente.

Esta investigación es descriptiva porque describe tendencias de un grupo o población, de acuerdo al diseño es pre experimental ya que se realiza con pre-pruebas y post-pruebas; es decir consiste en la administración de un estímulo “el fotocatalizador Dióxido de Titanio TiO_2 ” y después se aplica la medición de las variables, las cuales son comparadas para determinar la capacidad de desinfección dado por el estímulo. Se realizó la investigación en 2 diseños de tratamiento; Diseño Nº 1 (tratamiento de agua con fotocátalisis, usando radiación solar y dióxido de Titanio); y Diseño Nº 2 (tratamiento de agua sólo con radiación solar); se tomó la medición de las variables antes y después del tratamiento en cada diseño con un periodo de 2 repeticiones.

Asimismo, se hizo un análisis inicial del agua en estudio (sin tratamiento) para evaluar la concentración de los contaminantes microbiológicos y a partir de ello se determinó la capacidad de desinfección en los 2 diseños mencionados. Cabe mencionar que ambos diseños se llevaron a cabo al mismo tiempo y en las mismas condiciones ambientales.

ÍNDICE

	pág.
Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de autenticidad.....	iv
Presentación.....	v
Índice.....	vi
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Fundamentación Científica	5
Justificación.....	13
1.1. Problema	12
1.2. Hipótesis	12
1.3. Objetivos.....	13
II. MARCO METODOLÓGICO	13
2.1. Variables.....	13
2.2. Operacionalización de variables.....	14
2.3. Metodología	15
2.4. Tipo de estudio.....	25
2.5. Diseño.....	25
2.6. Población, muestra y muestreo	26
2.7. Técnicas de recolección de datos.....	27
2.8. Método de análisis	27
III. RESULTADOS	28
IV. DISCUSIÓN.....	33
V. CONCLUSIÓN.....	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS.....	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 01: Imagen Satelital del pueblo de Cuspanca, distrito de San Antonio, provincia de Huarochirí, departamento de Lima.....	40
Anexo N° 02: Fotografía TEM de TiO ₂ Degussa P25, 140 000 aumentos.....	41
Anexo N° 03: Fotografía óptica de un sustrato (vidrio arenado) inmovilizado con TiO ₂ Degussa P25, a diferentes aumentos.....	41
Anexo N° 04: Espectro terrestre con sol a 48° de ángulo cenital (ASTM, 1997) y extraterrestre.	42
Anexo N° 05: Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.....	42
Anexo N° 06: Esquema del Proceso de fotocátalisis heterogénea con TiO ₂	43
Anexo N° 07: Materiales e instrumentos utilizados.....	44
Anexo N° 08: Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos.....	45
Anexo N° 09: Requisitos para toma de muestras de agua y preservación.....	45
Anexo N° 10: Etiquetas para muestras de agua.....	46
Anexo N° 11: Ficha de cálculo de caudal del Método Flotador.....	47
Anexo N° 12: Registro de datos de campo de Calidad de agua.....	48
Anexo N° 13: Matriz de consistencia.....	49
Anexo N° 14: Constancia de laboratorio para realizar el Recubrimiento de los Sustratos de Vidrio con TiO ₂ Degussa P25.....	50
Anexo N° 15: Informes de Ensayo de Laboratorio y Cadenas de Custodia.....	52
Anexo N° 16: Hoja de Verificación del Piranómetro.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01: Resumen General - Calidad del Agua para Consumo Humano en el Perú.....	5
Tabla N° 02: Tipo de abastecimiento de agua en el distrito de San Antonio.....	9
Tabla N° 03: Disponibilidad del servicio de agua potable todos los días de la semana en el distrito de San Antonio.....	9
Tabla N° 04: Características Generales del Dióxido de Titanio.....	10
Tabla N° 05: Características Físicas del TiO ₂ Degussa P25.....	16
Tabla N° 06: Resultados de los parámetros de campo.....	17
Tabla N° 07: Características del sustrato de vidrio.....	17
Tabla N° 08: Resultados de la inmovilización de TiO ₂ sobre sustratos de vidrio (1 ^{era} Fecha).....	18
Tabla N° 09: Resultados de la inmovilización de TiO ₂ sobre sustratos de vidrio (2 ^{da} Fecha).....	19
Tabla N° 10: Características del recipiente.....	20
Tabla N° 11: Resultados de la Cantidad de Radiación Solar.....	22
Tabla N° 12: Resultados de los parámetros de campo – 1 ^{er} muestreo.....	25
Tabla N° 13: Resultados de los parámetros de campo – 2 ^{do} muestreo.....	25
Tabla N° 14: Ubicación y descripción del punto de muestreo.....	26
Tabla N° 15: Codificación de las muestras de agua.....	26
Tabla N° 16: Resultados de laboratorio – 1er análisis.....	28
Tabla N° 17: Resultados de laboratorio – 2do análisis.....	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Resultados de la Radiación Solar obtenida en el pueblo de Cuspanca.....	23
Gráfico N° 02: Resultados de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales en el Diseño N° 01 – 1er análisis.....	29
Gráfico N° 03: Resultados de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales en el Diseño N° 02 – 1er análisis.....	30
Gráfico N° 04: Resultados de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales en el Diseño N° 01 – 2do análisis.....	31
Gráfico N° 05: Resultados de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales en el Diseño N° 02 – 2do análisis.....	32
Gráfico N° 06: Porcentaje de reducción de Coliformes Termotolerantes.....	33
Gráfico N° 07: Porcentaje de reducción de Coliformes Totales.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01: Diagrama de Flujo del Proceso de Investigación.....	15
Figura N° 02: Peso de la capa de dióxido de titanio inmovilizado sobre sustratos de vidrio (1 ^{era} Fecha).....	19
Figura N° 03: Peso de la capa de dióxido de titanio inmovilizado sobre sustratos de vidrio (2 ^{da} Fecha).....	20
Figura N° 04: Diseño Pre – Experimental.....	21
Figura N° 05: Medición de la densidad de TiO ₂ en el Diseño N° 2.....	24

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01: Desinfección de los sustratos de vidrio, usando detergente, agua destilada y etanol.....	61
Fotografía N° 2: Sonicación de los sustratos de vidrio en agua destilada y etanol durante 15 minutos.....	61
Fotografía N° 03: Esterilización de los sustratos de vidrios en la mufla a 450 °C durante 15 minutos para eliminar microorganismos.....	62
Fotografía N° 04: Pesado inicial de los sustratos de vidrio.....	62
Fotografía N° 05: Pesado de 1 gr de TiO ₂ P25 en la balanza analítica.....	63
Fotografía N° 06: Preparación del coloide de TiO ₂ P25.....	63
Fotografía N° 07: Agitación magnética del coloide de TiO ₂ por 24 horas.....	64
Fotografía N° 08: Recubrimiento de la superficie del vidrio con el coloide de TiO ₂	64
Fotografía N° 09: Sintetización de los sustratos de vidrio inmovilizados con TiO ₂ en la mufla a 600 °C durante 30 minutos.....	65
Fotografía N° 10: Pesado final de los sustratos de vidrio inmovilizados con TiO ₂	65
Fotografía N° 11: Esterilización en el autoclave de los frascos de vidrio para muestreo de Coliformes.....	66
Fotografía N° 12: Calibración del phmetro con Buffer 4,01 y 7,01.....	66
Fotografía N° 13: Muestreo de agua en el río Santa Eulalia, pueblo de Cuspanca.....	67
Fotografía N° 14: Medición de la temperatura usando el termómetro.....	67
Fotografía N° 15: Medición de pH usando el phmetro.....	68

Fotografía N° 16: Recolección de agua en los frascos de vidrio esterilizados para un análisis inicial de Coliformes totales y Termotolerantes.....	68
Fotografía N° 17: Acondicionamiento del área de estudio para llevar a cabo la desinfección de agua mediante fotocátalisis con TiO_2 y radiación solar en el pueblo de Cuspanca.....	69
Fotografía N° 18: Desinfección de agua mediante fotocátalisis con TiO_2 y medición de la radiación solar.....	69
Fotografía N° 19: Medición de pH y temperatura del agua tratada.....	70
Fotografía N° 20: Refrigeración de los frascos de vidrio que contienen agua tratada y agua sin tratamiento.....	70
Fotografía N° 21: Delimitación del largo del río Santa Eulalia con dos palos de madera para calcular el caudal mediante el método del flotador.....	71
Fotografía N° 22: Control del tiempo en que se demora recorrer el flotador para calcular el caudal mediante el método del flotador.....	71
Fotografía N° 23: Medición de las profundidades a lo ancho del río Santa Eulalia para calcular el caudal mediante el método del flotador.....	72
Fotografía N° 24: Medición del ancho del río Santa Eulalia para calcular el caudal mediante el método del flotador.....	72

RESUMEN

El propósito de esta investigación, es proponer una alternativa de tratamiento de potabilización de agua para zonas rurales, donde no existen ningún sistema de desinfección de microorganismos patógenos, con la finalidad de encontrar un proceso de tratamiento de agua que sea económico, de fácil manejo y que aporte al desarrollo sostenible, haciendo uso de los recursos naturales.

Para esta investigación se estudió un proceso convencional de potabilización sustituyendo la etapa de desinfección por cloración, por un proceso de fotocátalisis heterogénea. Como catalizador, se empleó el TiO_2 inmovilizado en sustratos de vidrio. El agua utilizada para el tratamiento fue de un tramo del río Santa Eulalia que atraviesa el pueblo de Cuspanca, Huarochirí.

Se emplearon 2 diseños de tratamiento; Diseño N° 1 (tratamiento de agua con fotocátalisis, usando radiación solar y dióxido de Titanio); y Diseño N° 2 (tratamiento de agua sólo con radiación solar); para la desinfección de agua con el propósito de analizar y comparar los resultados utilizando radiación solar en ambos diseños. Como variables de respuesta se estudió el porcentaje de reducción de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales presentes en el agua en estudio.

Los resultados obtenidos para las variables de respuesta en el Diseño N° 1 fue una reducción del 100% de Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales, lo que significa que el agua tratada cumple con los límites máximos permisibles sustentados en el DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Sin embargo en el Diseño N° 2 (tratamiento de agua sólo con radiación solar), el agua tratada supera los límites establecidos en la norma en mención.

En el Diseño N° 1 se trabajó con 0,056 gr de TiO_2 / L de H_2O en estudio; y en ambos diseños se trabajaron con 932 W/ m^2 de radiación solar obtenido en el pueblo de Cuspanca. Asimismo, cabe mencionar que ambos diseños se llevaron a cabo en paralelo y en las mismas condiciones ambientales.

ABSTRACT

The purpose of this research is to propose an alternative treatment of potable water to rural areas, where there is no disinfection system of pathogenic microorganisms, with the purpose of find a water treatment process that is economical, easy to use and it contribute to sustainable development, making use of natural resources.

For this investigation, a conventional purification process was studied by replacing the disinfecting step by chlorination, by a process of heterogeneous photocatalysis. As a catalyst, were used TiO_2 immobilized on glass substrates. The water used for treatment was a stretch of the Santa Eulalia River through the village of Cuspanca, Huarochiri.

Were employed 2 designs to treatment; Design N° 1 (water treatment by photocatalysis, using titanium dioxide and solar radiation); and Design N° 2 (water treatment by solar radiation); for disinfection of water with the purpose of analyze and compare the results using solar radiation in both designs. As response variables was studied the percentage reduction of Thermotolerant Coliforms and Total Coliforms present in water in study.

The results obtained for the response variables in the Design N° 1 was a 100% reduction of Thermotolerant Coliforms and Total Coliforms, which means that the treated water meets the maximum permissible limits supported by DS N° 031-2010-SA. Regulation of Water Quality for Human Consumption. However, in the Design N° 2 (water treatment by solar radiation), the treated water exceeds the limits set in the standard references.

In the Design N° 1 worked with 0,056 g of TiO_2 / L of H_2O in study; and both designs have worked with 932 W / m^2 of solar radiation obtained in the village of Cuspanca. Also, worth mentioning that both designs were carried out in parallel and in the same environmental conditions.