

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Desinfección foto catalítica con TiO_2 para aguas de consumo humano en reactor de flujo continuo

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

David Willy Alvarez Rivas

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

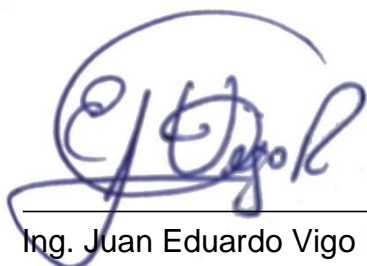
Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “Desinfección foto catalítica con TiO_2 para aguas de consumo humano en reactor de flujo continuo” constituye la memoria que presenta el Bachiller David Willy Alvarez Rivas para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 30 días del mes de diciembre del año 2019.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera



068

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 30 día(s) del mes de diciembre del año 2019, siendo las 8:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Msc. Rose Adeline Gallata Lhura el secretario: Ing. Verónica Naydee Pari Mamani y los demás miembros: Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez y el asesor Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Desinfección foto catalítica con TiO2 para aguas de consumo humano en reactor de flujo continuo

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) David Willy Alvarez Rivas b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): David Willy Alvarez Rivas

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Handwritten signatures for Presidente, Secretario, Asesor, Miembro, Candidato/a (a), and Candidato/a (b).

DEDICATORIA

A mi querida madre Felicitas

A mi amado padre Wilfredo

A mis hermanos.

Agradecimientos

A Dios, por su compañía incondicional, por ayudarme a cumplir cada uno de mis sueños y metas.

A la Universidad Peruana Unión, por permitirme formarme como un profesional en sus aulas.

Al Ing. Juan Eduardo Vígo Rivera, mi asesor, por haber sido un gran mentor, amigo y guía para la ejecución de la investigación.

A los docentes de la EP. Ingeniería Ambiental – Filial Juliaca; MSc. Rose Adeline Callata Chura, Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani, Ing. Miguel Angel Salcedo Enríquez así mismo también al MSc. Jael Calla Calla por su apoyo, comprensión y motivación durante mi vida académica y en la elaboración de este proyecto de investigación.

Índice general

Índice general	6
Índice de tablas.....	9
Índice de figuras	10
Índice de anexos	12
Símbolos utilizados.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	16
1.1. Identificación del Problema	16
1.2. Justificación de la investigación.....	18
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	20
2.1. Fundamentos del objeto de estudio.....	20
2.1.1. Agua potable	20
2.1.2. Tipo de agua potable	21
2.1.3. Características biológicas del agua potable	22
2.1.4. <i>Escherichia coli</i>	23
2.1.5. Tipos de tratamiento de aguas para consumo humano.....	24
2.1.6. Fotocatálisis heterogénea	25
2.1.7. Radiación UV	26
2.1.8. Principales reactores foto catalíticos	29
2.2. Resultados anteriores de investigación	35
2.2.1. Antecedentes internacionales.....	35
2.3. Marco Legal.....	36
2.3.1. Límites Máximos Permisibles para parámetros microbiológicos y parasitológico DS. N°031-2010-SA	36
CAPITULO III 38 MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Descripción del lugar de ejecución	38
3.1.1. Datos de ubicación del lugar experimental	38
3.2. Materiales, insumos, equipos y formatos	38

3.2.1. Materiales	38
3.3. Metodología.....	39
3.3.1. Toma de muestra de agua	39
3.3.2. Método de análisis de los parámetros monitoreados	40
3.3.3. Diseño de reactor.....	40
3.3.3.1.Tipo de material de la superficie reflectante	43
3.3.3.2.Tipo de tubo de vidrio.....	43
3.3.3.3.Dirección y ángulo geométrico que define la superficie reflectora del reactor	44
3.3.3.4.Método de fijación del catalizador en el sustrato.....	45
3.3.3.5.Diámetro de los tubos de vidrio tipo Pyrex	46
3.3.3.6. Tipo de tubería de plástico.....	46
3.3.3.7. Caudal de operación.	46
3.3.3.8. Capacidad de almacenamiento de agua a tratar en el reactor.	47
3.3.3.9. Desfogue de residuos del reactor.	47
3.4. Datos Meteorológicos	47
3.5. Diseño de investigación	47
3.6. Variables en estudio.....	47
3.7. Esquema del procedimiento del experimento	48
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1. Diseño y construcción del reactor fotocatalítico	49
4.2. Determinación de los parámetros de <i>E. coli</i> y pH antes y después de los tratamientos en el reactor fotocatalítico con TiO ₂ , comparando con la norma nacional vigente.....	59
4.2.1. Cinética de inactivación de <i>Escherichia coli</i>	59
4.2.4. Determinación del pH.....	61
4.3. Determinación de la eficiencia del reactor fotocatalítico con TiO ₂ en la inactivación de <i>E. coli</i>	62
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	66

REFERENCIAS	67
ANEXOS	73

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua	21
Tabla 2. Agentes patógenos presentes en el agua	22
Tabla 3. Límites Máximos permisibles para parámetros microbiológicos y parasitológicos.....	37
Tabla 4. Coordenadas geográficas en Unidades cartográfica transversa de Mercator (UTM).	38
Tabla 5. Materiales de construcción del reactor foto catalítico	39
Tabla 6. Materiales de campo, insumos, equipos y formatos	39
Tabla 7. Procedimiento de monitoreo de la muestra de agua.....	40
Tabla 8. Métodos de análisis de los parámetros	40
Tabla 9. Ventajas y desventajas de reactores fotocatalíticos.....	41
Tabla 10. Ubicación de la estación meteorológica y el lugar experimental	47
Tabla 12. Especificaciones técnicas de los tubos de vidrio del reactor fotocatalítico.....	50
Tabla 13. Accesorios empleados para el ensamblaje del reactor fotocatalítico	51
Tabla 14. Capacidad de almacenamiento del reactor	52
Tabla 16. Dimensiones entre la bolsa de aluminio y la superficie del reactor	54
Tabla 17. Materiales empleados para las varillas fotocatalíticas	55
Tabla 18. Resultados iniciales de presencia de E.coli y pH antes de tratar el agua en el reactor.....	59

Índice de figuras

Figura 1. Vías de contaminación y ejemplos de patógenos relacionados con el agua (adaptado de Lampoglia et al., 2008)	23
Figura 2. Estructura cristalina de la Anatasa, Sistema tetragonaligura (adaptado de Deza Martí et al., 2017)	24
Figura 3. Esquema del proceso de fotocatalisis heterogénea en partícula semiconductora (adaptado de Esparza et al., (2010)	26
Figura 4. Esquema de los tres tipos de radiación ultravioleta (adaptado de Cañarte Soledista, 2010).....	27
Figura 5. Dependencia de la radiación ultravioleta adaptado de OMS (2003)	28
Figura 6. Categorías de exposición a la radiación UV adaptado de OMS (2003)	29
Figura 7. Gráfico que representa los horarios más altos de radiación UV adaptado de OMS (2003)	29
Figura 8. Configuración usual de una RPP adaptado de Braham y Harris, 2009)	30
Figura 9. Foto reactor CPC no concentrado adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)	32
Figura 10. Reactor solar de tipo CPI adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)	34
Figura 11. Partes del reactor fotocatalítico	42
Figura 12. Nivel de reflectancia de distintos metales adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)	43
Figura 13. Transmitancia de diferentes materiales válidos para reactores fotocatalíticos en el espectro ultravioleta adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004).....	44
Figura 14. El ángulo en el que se monta el colector según a la latitud de ubicación adaptado de Energy Sunflower Renewable, 2019).....	45
Figura 15. Esquema del procedimiento experimental	48
Figura 16. Reactor fotocatalítico	50
Figura 17. Corte transversal del tubo de vidrio fotocatalítico de tipo Pyrex	51
Figura 18. Unión del tubo de vidrio y tubería IPS. a) Vista frontal y b) Vista isométrica ...	52
Figura 19. Vista de planta de la sección de tubos (vidrio Pyrex y IPS) del.....	53
Figura 20. Plataforma del reactor fotocatalítico de metal. a) Vista Isométrica y b) vista de perfil	54
Figura 21. Plataforma ensamblada de reactor fotocatalítico	55
Figura 22. Bolsa reciclada de aluminio	56
Figura 23. Vista de Planta del circuito de tubería de tipo Pyrex montado con tubería PVC de tipo IPS.	56
Figura 24. Tubos fijados con Dióxido de Titanio (TiO ₂)	57

Figura 25. Circuito de tubería de vidrio Fotocatalítico con varillas de madera fijadas con el catalizador (TiO ₂).	58
Figura 26. Reactor ensamblado A) sin catalizador y B) con catalizador.	58
Figura 27. Cinéticas de inactivación Escherichia coli de los tratamientos en el reactor fotocatalítico	60
Figura 31. Comparación del valor del potencial de hidrógeno (pH) en diferentes tratamientos y su comparación con la norma vigente	62
Figura 32. Eficiencia de los tratamientos	64

Índice de anexos

ANEXO A. Hoja técnica de tubería IPS	73
ANEXO B. Resultados Generales de los parámetros analizados.....	74
ANEXO C. Informes de los resultados químicos y microbiológicos de laboratorio antes y después del tratamiento	75
ANEXO D. Cadenas de custodia	89
ANEXO E. Resultados de la Índices de Radiación Solar y UV	93
ANEXO F. Datos empíricos del caudal del reactor fotocatalítico	94
ANEXO G. Datos de la capacidad de almacenamiento del reactor fotocatalítico	94
ANEXO H. Planos del diseño del Reactor Fotocatalítico	95
ANEXO I. Vista en 3D del reactor Fotocatalítico construido	97
ANEXO J. Ficha técnica del Dióxido de Titanio (TiO ₂).....	98
ANEXO K. Panel Fotográfico.	101

Símbolos utilizados

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
CPC	: Colectores parabólicos compuestos
DIGESA	: Dirección General de Salud
<i>E. coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
CPI	: Colectores planos inclinados
IPS	: Tubería polipropileno
MINAM	: Ministerio del Ambiente
NMP	: Número máximo probable
OMS	: Organización Mundial de la Salud
pH	: Potencial de hidrógeno
RPP	: Reactores de perfil parabólico
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento
TiO ₂	: Dióxido de Titanio
UNICEF	: Fondo de las Naciones Unidas para la niñez
UFC	: Unidades formadores de colonias
UTI	: Infecciones del tracto urinario
UV	: Radiación ultravioleta

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la desinfección fotocatalítica con TiO_2 para *Escherichia coli* de aguas para consumo humano en un reactor de flujo continuo; construido por cuatro tubos de vidrio tipo Pyrex de diámetro de 2 pulgadas y longitud de 70 cm armados en circuito continuo, con caudal de 9.3 L/h y tiempo de retención hidráulica de 6.75 minutos. Se aplicó cuatro tratamientos, el Tratamiento 1 sin catalizador y los Tratamientos 2, 3 y 4 con TiO_2 expuestos a la radiación solar, con tiempos de exposición de 60 minutos monitoreado a las 11:15, 11:45 y 12:15 horas, empleando agua subterránea con presencia de *Escherichia coli*. El porcentaje de inactivación de los tratamientos fueron de 9.1, 78.6, 45.8 y 53.5% para los Tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Se concluye que el uso de TiO_2 como catalizador en la fotocatalisis incrementa la inactivación del *E. coli* en aguas subterránea para consumo humano.

Palabras clave: Agua para consumo humano, desinfección fotocatalítica, dióxido de Titanio, *Escherichia coli*.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the photocatalytic disinfection with TiO₂ for *Escherichia coli* of water for human consumption in a continuous flow reactor; made of four Pyrex type glass tubes with a diameter of 2 inches and a length of 70 cm, assembled in a continuous circuit, with a flow rate of 9.3 L / h and a hydraulic retention time of 6.75 minutes. Four treatments were applied, Treatment 1 without catalyst and Treatments 2, 3 and 4 with TiO₂ exposed to solar radiation, with exposure times of 60 minutes monitored at 11:15, 11:45 and 12:15 hours, using groundwater with the presence of *Escherichia coli*. The inactivation percentage of the treatments were 9.1, 78.6, 45.8 and 53.5% for Treatments 1, 2, 3 and 4, respectively. It is concluded that the use of TiO₂ as a catalyst in photocatalysis increases the inactivation of *E. coli* in groundwater for human consumption.

Keywords: Water for human consumption, photocatalytic disinfection, titanium dioxide *Escherichia coli*.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

El agua es esencial para la vida, es limitado la cantidad de agua para consumo humano, y su calidad de consumo se encuentra sometida a una presión constante; el uso que se da como agua potable es importante y también en las diferentes actividades humanas; la calidad de agua se encuentra comprometida por la existencia de agentes infecciosos y productos químicos tóxicos o radiaciones (OMS, 2021).

El acceso al agua potable se ve afectada a poblaciones que tienen una desventaja social, económica, demográfica y geográfica, por lo que se requiere una clara consideración de estos grupos para comprender y abordar las disparidades (WHO, 2019). De igual manera los países con ingresos bajos y medios, cuyo 38% de sus servicios de saneamiento no cuentan con fuentes de agua, el 19% con saneamiento mejorado, y el 35% con agua y jabón para lavarse las manos (OMS y UNICEF, 2018).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), en el 2015 el 71% de la población utilizaba un servicio de suministro de agua potable gestionado cuando se necesita y no contaminado, y 2100 millones de personas no contaban con los servicios de forma segura (OMS y UNICEF, 2018).

Además, el Banco Mundial menciona que los servicios de agua y saneamiento adecuado deben ir en aumento, debido a las consecuencias sobre la salud y el bienestar, en la actualidad la diarrea es la segunda causa de muerte en niños menores de 5 años, y los niños pobres también sufren de enfermedades intestinales que junto con la desnutrición y las infecciones, contribuyen al retraso de su crecimiento (BM, 2021).

Florez Franco (2015) menciona que en la Región de Puno se encuentra en un crecimiento demográfico exponencial acompañado de una urbanización en aumento aproximada del 78% que hacen una presión sobre los servicios básicos que para enfrentar esta demanda se requiere un equivalente al 0,31% del PIB (Producto interior bruto) global actual de la región.

Según, Choquehuanca Huanca (2014) en los últimos 75 años la población del distrito de Juliaca ha ido en aumento 50 veces, desde 6034 habitantes(1940) hasta el 2007, con una alta tasa de crecimiento anual del 4%, y por tal motivo se la conoce como la primera ciudad más poblada del altiplano peruano. Actualmente, según el INEI el 2017 Juliaca tuvo una población de 235 mil 110 habitantes (INEI, 2017).

También en un estudio realizado por Zegarra Butrón (2017) señala que los pozos del distrito de Juliaca presentan concentraciones superiores a <1.8 NMP/100ml para coliformes totales y fecales, esto indica contaminación fecal, el 66% de las muestras analizadas de agua de pozo requieren un método de desinfección y el 34% restante de muestras de otros tipos de tratamiento; siendo un factor influyente en la dispersión de contaminantes biológicos la variación del nivel piezómetro, existiendo una correlación débil positiva y muy débil positiva entre el nivel de carga de contaminantes biológicos y las concentraciones de coliformes totales y fecales en las aguas subterráneas.

Lo que se observa también en la ciudad de Juliaca, su alta tasa de crecimiento demográfico, un alto porcentaje de la población no cuenta con los servicios de saneamiento básico como son agua y desagüe, especialmente en zonas rurales y periurbanas, por lo tanto los pobladores se ven en la necesidad de usar asilos y otros métodos para realizar su disposición de excretas, los cuales son transportados por la napa freática, alterando así la calidad del agua subterránea, pues mediante pozos la población se abastece de agua para su consumo y actividades diarias, y uno de los componentes principales presentes en la materia fecal es el grupo coliformes, considerada como indicadores en el control de calidad del agua destinada al consumo humano (Zegarra Butrón, (2017).

Larreal-Murrell et al. (2013) menciona que uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados actualmente son los coliformes totales y coliformes fecales, *E. coli* y enterococos indican, y que la *Escherichia coli* es responsable de aproximadamente 630 millones de casos de diarrea en el mundo y entre 5 a 6 millones de muertes al año, siendo los más afectados la población infantil de países en vía de desarrollo, además, se ha reportado su participación en cerca del 50% de las UTI (Infecciones Urinarias

intrahospitalarias) y en el 90% de las infecciones de este tipo en pacientes ambulatorios. López-Molina y Eslava-Campos (2015) mencionan que probablemente estos componentes se encuentran dispersos en las aguas subterráneas de las zonas rurales y periurbanas de la ciudad de Juliaca. Según Munn, (2004) la presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición.

Al respecto la Dirección Regional de Salud – Puno, Red de Salud San Román mencionó que la Dirección Regional estará analizando los pozos de agua de la población, en el marco de la declaratoria de emergencia de 5 distritos por tema de contaminación; mencionó además que hay indicios de que en las fuentes de agua se encuentren con altas cantidades de coliformes fecales y metales pesados que es dañino para la salud de la población (DIRESA, 2019)

Por estas razones, es necesario implementar un método de tratamiento eficiente para la remoción de este contaminante biológico (*Escherichia coli*). La selección de una tecnología depende principalmente del potencial de inactivación de esta bacteria, por lo tanto, el método de fotocatalisis con TiO_2 como catalizador, tiene una alta capacidad de eficiencia al momento de la inactivación de contaminantes biológicos en el agua como es la *Escherichia coli* y a su vez el uso de varillas de madera encapsuladas con pintura epóxica como sustrato para la fijación, lo que facilita el contacto del catalizador con el agua a tratar aumentando la absorción de rayos UV y así degradar la materia orgánica presente en esta.

1.2. Justificación de la investigación

Esta investigación permitirá dar solución a la problemática de la presencia de la bacteria del *Escherichia coli* en cuerpos de agua que son empleadas para consumo humano y que generen la proliferación de enfermedades, especialmente en países en vías de desarrollo; empleando la radiación ultravioleta que en zonas alto andinas que es elevada y el Dióxido de Titanio como catalizador para inactivar el *E. Coli*; este método también lo utilizaron Guiovana Rincón et al. (2004) y Corzo Lucioni (2011) con resultados de inactivación de la bacteria aceptables.

Además, la investigación permitirá mejorar la calidad de vida de estas poblaciones rurales y periurbanas, que usan aguas superficiales y subterráneas como fuente de abastecimiento por no contar con servicios de saneamiento básico, al reducir las enfermedades gastrointestinales por *Escherichia coli*, principalmente en poblaciones de niños y ancianos, estos reactores fotocatalíticos con TiO_2 podrían utilizarse como sistema

piloto de desinfección en comunidades rurales de la región Puno, porque no genera toxicidad y subproductos Castro et al., (2009).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la desinfección fotocatalítica con TiO_2 de *Escherichia coli* de aguas para consumo humano en reactor de flujo continuo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir el reactor fotocatalítico con TiO_2 fijado de flujo continuo.
- Determinar los parámetros de *E. coli* y pH antes y después de los tratamientos en el reactor fotocatalítico con TiO_2 , comparando con la norma nacional.
- Determinar la eficiencia del reactor fotocatalítico con TiO_2 en la inactivación de *E. coli*.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Fundamentos del objeto de estudio

2.1.1. Agua potable

Según Howard y Bartram (2003) menciona que el acceso seguro al agua para consumo humano, para no llegar a tener problemas en la salud, debería ser superior a 100 l/habitante/día. Pérez Garay (2015) indica que el agua debería potabilizarse en tratamientos para que así cumpla con las normas de calidad y que esta inicie a partir de la captación de agua, ya sean superficiales o subterráneas.

En el presente se programan y planifican medidas con el fin de mejorar la calidad de su uso y de esta manera resolver los numerosos problemas de salud, siendo el agua un medio de transporte de diferentes enfermedades; en tal sentido es necesario la vigilancia permanente a la calidad sanitaria para evitar epidemias (Álvarez Alva, 2002).

Según Lampoglia et al. (2008) se entiende como agua potable aquella que cumple los siguientes aspectos; Inexistencia de microorganismos que causan enfermedades, libre de compuestos nocivos a la salud, aceptable para consumo, (parámetros organolépticos), exenta de compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias.

La Tabla 1 muestra la clasificación de los contaminantes presentes en el agua, de acuerdo a las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Tabla 1.

Clasificación de los contaminantes presentes en el agua

Físicos	Químicos	Gaseosos	Biológicos
<input type="checkbox"/> Olor	• Materia orgánica	• Anhídrido carbónico	• Bacterias
<input type="checkbox"/> Color	• Acidez/ alcalinidad	• Metano	• Hongos
<input type="checkbox"/> Grasas y aceites	• Potencial de hidrógeno (pH)	• Ácido sulfhídrico	• Protozoos
<input type="checkbox"/> Espumas	• Nitrógeno		• Algas
<input type="checkbox"/> Radiactividad	• Fósforo		• Animales
<input type="checkbox"/> Temperatura	• Salinidad		• Plantas
<input type="checkbox"/> Sólidos disueltos	• Metales pesados		• Virus
<input type="checkbox"/> Sólidos en suspensión	• Detergentes		
	• Compuestos tóxicos		
	• Pesticidas		

Fuente: Aurazo de Zumaeta, (2004)

2.1.2. Tipo de agua potable

Agüero Pittman (2003) menciona que la cantidad necesaria para la población es relevante al momento de seleccionar una fuente de abastecimiento de agua, existen tres tipos principales de fuente; Aguas de lluvia, aguas superficiales (lagos, arroyos, lagunas, ríos, mares, océanos y glaciares) y aguas subterráneas (pozos profundos).

2.1.2.1. Aguas superficiales

Las aguas superficiales están compuestas por ríos, arroyos, lagos, etc. que fluyen sobre la superficie terrestre. Las zonas habitadas por pobladores anhelan este tipo de fuentes. Sin embargo, en ocasiones no existe otra fuente alternativa en la comunidad, siendo necesario para su uso, tener la información completa que permita conocer las características físico, químicas y microbiológicas (Agüero Pittman, 2003).

2.1.2.2. Aguas subterráneas

Lampoglia et al. (2008) mencionan que las fuentes de captación de aguas subterráneas se pueden realizar mediante manantiales, pozos, galerías filtrantes, excavados y tubulares, estas fuentes comúnmente se encuentran protegidas por ende están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad que se encuentran dentro de los parámetros de consumo humano.

El agua subterránea comúnmente es de buena calidad y puede utilizarse para consumo humano sin tratamiento, sin embargo es preferible la desinfección como método

para prevenir contaminación durante el manejo del agua, así mismo, el agua de los pozos de poca profundidad pueden contener microorganismos provenientes de letrinas cercanas, tanques sépticos, pastoreo de ganado o contaminación de sustancias orgánicas sintéticas de productos agroquímicos (González H. et al., 2010).

2.1.3. Características biológicas del agua potable

Los contaminantes biológicos infecciosos deben ser eliminados para evitar problemas en salud, el cual puede causar la enfermedades y mortalidad en países en desarrollo y el agua es solo uno de los medios de transporte, ya que estos agentes patógenos pueden ser transportados mediante los alimentos y así mismo por los malos hábitos de higiene de persona a persona, de animales al hombre, entre otras rutas Sánchez Martínez, (2017).

Además los lixiviados de rellenos sanitarios, los efluentes de aguas residuales con tratamiento deficiente, las infiltraciones de tanques sépticos, etc, la escorrentía pluvial y las inundaciones ocasionan el deterioro de la calidad del agua de los recursos hídricos (Aurazo de Zumaeta, 2004).

La tabla 2 muestra los agentes patógenos presentes en el agua que se presentan en aguas superficiales y subterráneas y cuya transmisión mediante flujo hídrico han sido demostrados.

Tabla 2.
Agentes patógenos presentes en el agua

Tipo	Agentes
Bacterias	<i>Escherichia Coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni</i>
Virus	<i>Enterovirus, rotavirus, adenovirus</i>
Protozoos	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli</i>
Helmintos	<i>Ascaris, Trichuris, Taenia.</i>
Cyanobacterias	<i>Anabaena, Microcystis.</i>

Fuente: Adaptado Aurazo de Zumaeta (2004)

Las principales enfermedades infecciosas se transmiten mediante las heces de seres humanos y animales, si el agua para consumo humano está contaminada, producirá enfermedades infecciosas; la Organización Mundial de la Salud (OMS), en sus guías para la calidad de agua para consumo humano, señala que el riesgo más común y difundido

que lleva consigo el agua para consumo humano son las enfermedades infecciosas provocadas por bacterias, virus, protozoarios y helmintos (SUNASS y JICA, 2004).

Al respecto Lampoglia et al. (2008) mencionan que existen vías de contaminación y ejemplos de microorganismos que se encuentran en los cuerpos de agua tal como se muestra en la Figura 1.

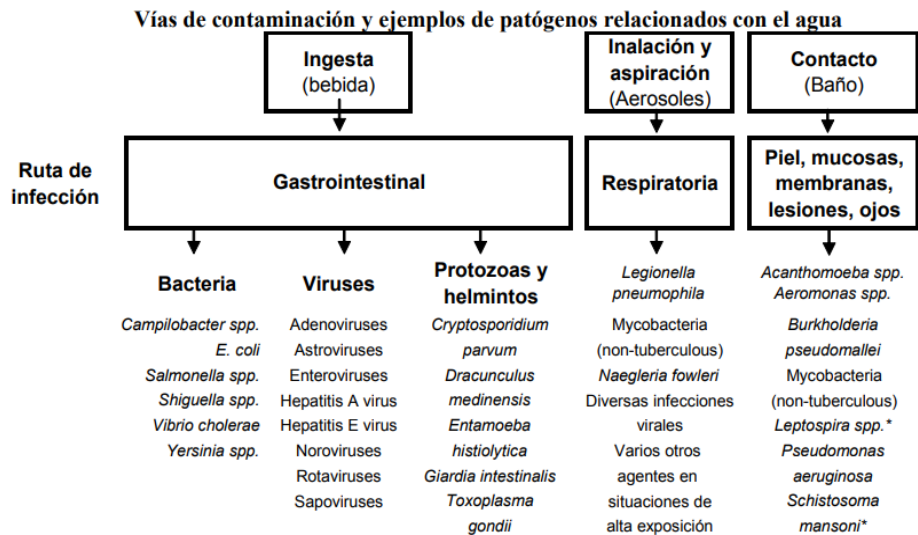


Figura 1. Vías de contaminación y ejemplos de patógenos relacionados con el agua (adaptado de Lampoglia et al., 2008)

2.1.4. *Escherichia coli*

Allaert Vandevenne y Escolá Ribes (2002) mencionan que es un microorganismo que tiene forma de bastón de 1.5 por 4µ, la mayoría de las especies son móviles ya que cuentan con flagelos periticos típicos de las entero bacterias los cuales les permiten movilizarse, su cultivo se realiza en medios diferenciales para el aislamiento permiten una rápida identificación de las cepas lactosa positivas, como el agar EMB y Agar McConkey, y la diferenciación con otras entero bacterias se comprobar de forma sencilla atendiendo los caracteres bioquímicos, comprobando la fermentación de la lactosa y la producción de indol con ausencia de actividad frente al citrato y la urea (Carrillo Zapata y Lozano Caicedo, 2008).

La *Escherichia coli* (bacteria gram negativa) cuenta con una gruesa capa externa de peptidoglicano en su pared celular que le hace más resistente a los diferentes métodos de desinfección convencional (Rodríguez-Chueca et al., 2013).

2.1.5. Tipos de tratamiento de aguas para consumo humano

Para llegar a tener agua potable de calidad es necesario someterlo a diferentes tratamientos esenciales, que comprenden la clarificación, desinfección y el ordenamiento químico y organoléptico (Pérez Garay, 2015).

2.1.5.1. Desinfección del agua

González H. et al. (2010), menciona que el uso de la desinfección en el proceso de tratamiento del agua podría evitar que este sea un medio de transporte de enfermedades como el cólera, hepatitis infecciosa, poliomielitis, fiebre tifoidea y paratifoidea, amibiasis, enteritis causada por rotavirus, y diarrea causada por cepas patógenas de *Escherichia. coli* teniendo diferentes métodos y tecnológicas de desinfección entre las más utilizadas en la actualidad están: cloración, ozonización, yodación y fotocatalisis.

2.1.5.2. Dióxido de Titanio TiO_2

El Titanio como elemento ocupa el noveno puesto en abundancia en toda la corteza terrestre, en una forma de óxido, el cual puede encontrarse en tres formas cristalinas, los cuales son brookita, rutilo y la anatasa, estos últimos mencionados son utilizados como catalizadores, siendo la anatasa la más común en temas de actividad fotocatalítica (Fernández-Ibáñez, 2004). La estructura anatasa del sistema tetragonal se muestra en la figura 2.

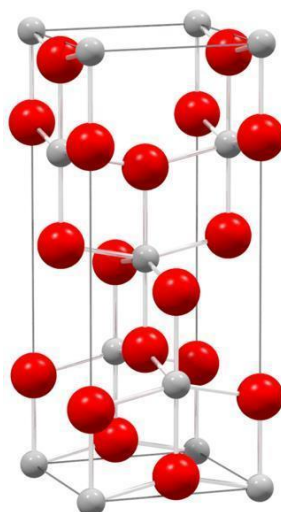


Figura 2. Estructura cristalina de la Anatasa, Sistema tetragonal (adaptado de Deza Martí et al., 2017)

Asimismo, Haider et al., (2017) mencionan que el Dióxido de Titanio (TiO_2) es utilizado como un semiconductor para el proceso de fotocatalisis heterogénea, esto es gracias a las propiedades de absorción de energía radiante y su alta estabilidad química que lo hace perfecto para trabajar en un amplio rango de pH, que es idóneo para mineralizar un alto porcentaje de los contaminantes orgánicos a baja concentración en condiciones ambientales de temperatura y presión, permitiendo también la eliminación de compuestos inorgánicos como los cianuros, su irradiación es aplicable al tratamiento de aire, aguas y suelos contaminados.

2.1.6. Fotocatálisis heterogénea

El método de fotocatalisis heterogénea utilizando el TiO_2 como catalizador, ha evidenciado ser funcional para la remoción de compuestos orgánicos presentes en el agua (Huang et al., 2008).

La eficiencia de este método se basa en la reducción y oxidación (Redox) de la superficie del TiO_2 , realizándose mediante la absorción de fotones de energía igual o superior al bandgap del semiconductor, conocida como foto excitación donde se promueve reacciones de transferencia de carga, a través de la interfaz semiconductor-solución acuosa, el resultado neto es la catálisis de la reacción de oxidación de los contaminantes disueltos, por parte del semiconductor iluminado por rayos UV (Herrmann, 1999).

Asimismo, Navarro García (2015) menciona que el uso de catalizadores sólidos y radiación ultravioleta procedentes de la luz solar o artificiales son empleadas en la fotocatalisis heterogénea; por lo general, se emplean Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 y ZnO , como catalizadores y el más utilizado, es el dióxido de Titanio, TiO_2 , por ser muy estable, no tóxico, económico, tener amplia superficie de absorción y alta actividad fotocatalítica.

La fotocatalisis heterogénea posibilita la degradación, en muchos casos la mineralización, de gran variedad de compuestos orgánicos según el proceso que se esquematiza en la figura 3.

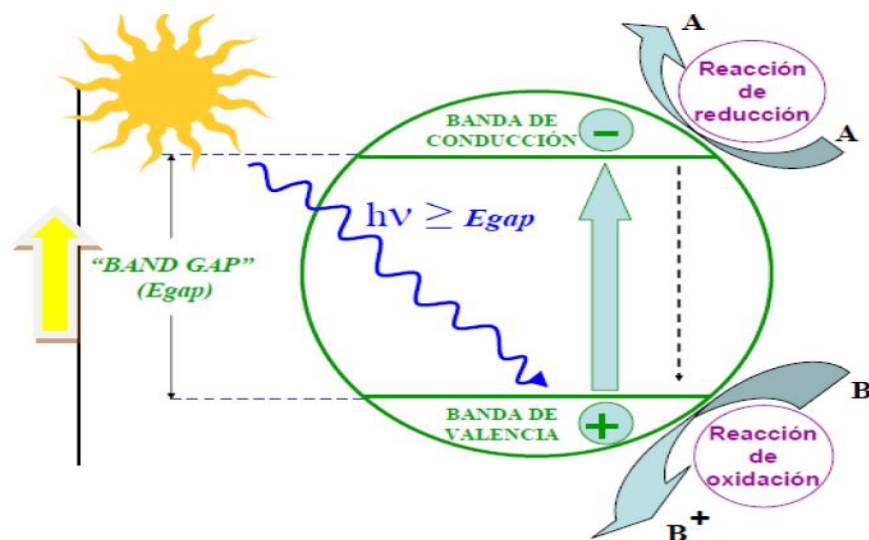


Figura 3. Esquema del proceso de fotocatalisis heterogénea en partícula semiconductor (adaptado de Esparza et al., (2010))

Cuando la luz incide en la superficie del foto catalizador (material semiconductor), se produce la excitación y se libera un electrón (e^-) desde la banda de valencia (BV) hacia la banda de conductividad (BC); este electrón reacciona con el oxígeno molecular (O_2) convirtiéndolo en un anión (O^{2-}), por su parte, el hueco (H^+) dejado por el electrón reacciona con la molécula del agua convirtiéndola en un radical hidroxilo (OH^+), y en conjunto el O^{2-} y OH^+ por su elevado poder óxido-reductor, ante la presencia de cualquier molécula contaminante, ya sea esta orgánica o inorgánica, producirán una reacción fotoquímica de óxido-reducción que degradará la molécula contaminante (Navarro García, 2015).

El potencial de hidrógeno (pH) es un indicador muy importante al momento de utilizar la fotocatalisis como solución para degradar materia orgánica, en tal sentido Valencia et al., (2011) indican que la cinética de reacción es elevada a un pH por debajo del punto isoeléctrico del foto catalizador quiere decir, que mientras el pH se acerque a 0 la degradación de materia orgánica es más eficiente y disminuye su eficiencia a un pH por encima del punto isoeléctrico.

2.1.7. Radiación UV

Según Cañarte Soledista (2010) el sol emite luz, calor y radiación solar, este último incluye tres elementos: rayos ultravioletas, luz visible y rayos infrarrojos. Existen tres tipos de radiaciones ultravioleta como se observa en la figura 4:

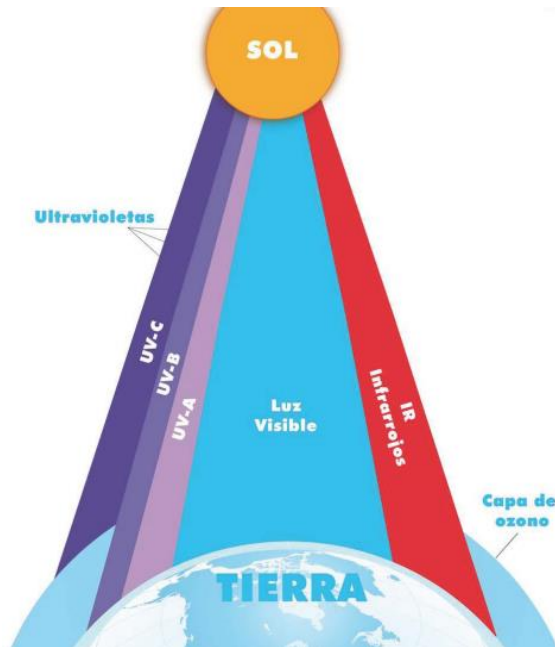


Figura 4. Esquema de los tres tipos de radiación ultravioleta (adaptado de Cañarte Soledista, 2010)

La región Ultra Violeta contempla el intervalo de longitudes de onda de 100 a 400 nanómetros y se divide en las tres bandas siguientes:

- Ultra Violeta A (315 a 400 nanómetros)
- Ultra Violeta B (280 a 315 nanómetros)
- Ultra Violeta C (100 a 280 nanómetros)

Cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono absorben toda la radiación Ultra Violeta C y aproximadamente el 90% de la radiación Ultra Violeta B. La atmósfera absorbe la radiación Ultra Violeta A en menor medida. Y como resultado, la radiación Ultra Violeta que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos Ultra Violeta A, con una pequeña parte de rayos Ultra Violeta B (Cañarte Soledista, 2010).

Según el guía de OMS (2003) indica que mientras el sol se encuentre en lo más alto, más intensa es la radiación Ultra Violeta, así, la intensidad de la radiación Ultra Violeta depende de la hora del día y la época del año, las mayores intensidades de la radiación Ultra Violeta se producen cuando el sol alcanza su máxima altura.

2.1.7.1. La Latitud

Cuanto más cerca de la línea del ecuador se encuentre un País, más intensa es la radiación UV (OMS, 2003).

2.1.7.2. La Nubosidad

Así mismo la guía de mencionan que la intensidad de la radiación Ultra Violeta es alta cuando el cielo se encuentra despejado, incluso con nubes, y la dispersión puede producir el mismo efecto que la reflexión por diferentes superficies, aumentando la intensidad total de la radiación Ultra Violeta (OMS, 2003).

2.1.7.3. La Altitud

La OMS (2003) sostienen que mientras mayor sea la altitud la atmósfera es más delgada por consiguiente absorbe una menor proporción de radiación UV, con cada 1000 metros de aumento de la altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta en un 10 a 12%.

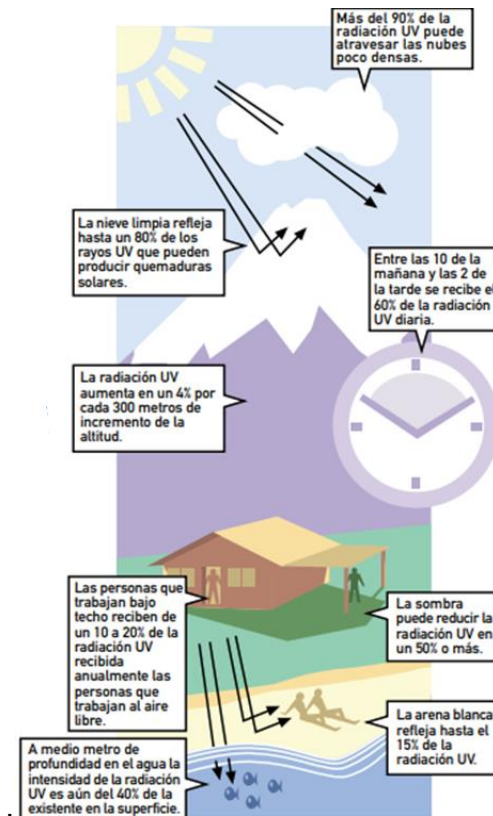


Figura 5. Dependencia de la radiación ultravioleta adaptado de OMS (2003)

2.1.7.4. Valores del Índice de radiación ultra violeta (IUV)

El IUV es una medida de la intensidad de la radiación Ultra Violeta sobre la superficie terrestre, los cuales deben presentarse como un valor único redondeado al número entero más próximo; los valores del IUV se separan en categorías de exposición, los servicios de información meteorológica de un país o de un medio de comunicación pueden informar sobre la categoría de exposición, el valor o intervalo de valores del IUV, o ambos (OMS, 2003).

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Figura 6. Categorías de exposición a la radiación UV adaptado de OMS (2003)

Así mismo existen horarios en las cuales se observa mayor índice de radiación UV, como se indica en la figura 7.

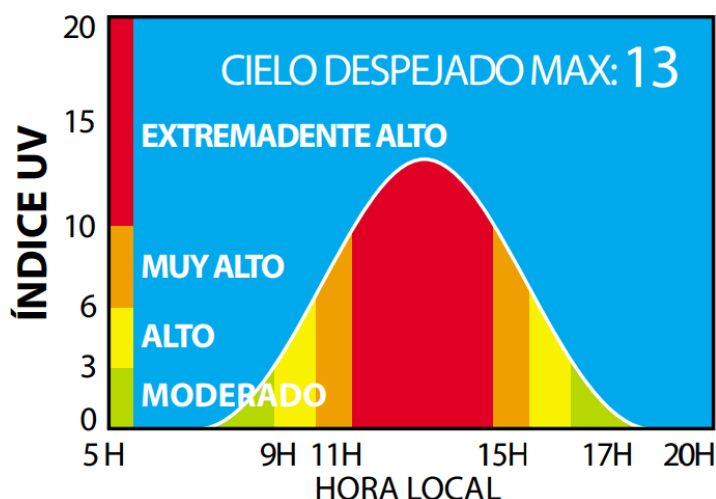


Figura 7. Gráfico que representa los horarios más altos de radiación UV adaptado de OMS (2003)

2.1.8. Principales reactores foto catalíticos

Gamboa Gamboa (2014) menciona que actualmente los procesos fotocatalíticos están siendo aplicados en diferentes campos: tratamiento de aguas, producción de energía, síntesis química, mitigación de gases, siendo este un método potencialmente amigable con

el medio ambiente, ya que para los procesos mencionados anteriormente se consumen combustibles fósiles, esto teniendo como resultado el calentamiento global, la idea de realizar estos procesos con solo la radiación solar como entrada de energía es atractiva; sin embargo, la inclusión de los procesos fotocatalíticos requieren el uso de un reactor, un equipo en el cual los fotones, el foto catalizador y los reactantes entren en contacto entre sí, con el fin de lograr un objetivo en común.

2.1.8.1. Reactores de perfil parabólico (RPP)

Los reactores fotocatalíticos son diferentes en cuanto a su funcionamiento en comparación a un calentador solar, ambos requieren una absorción y captación de radiación solar específicamente en un área terminada de ambos sistemas, el uso de reflectantes parabólicos se diseñó partir de los procesos térmicos, así mismo este es una buena opción para poder diseñar un reactor fotocatalítico tomando como base estos diseños (Gamboa Gamboa, 2014).

Un reactor de perfil parabólico (RPP) utiliza una superficie parabólica larga y reflectante, similar a la de los calentadores solares, con el fin de poder captar la mayor cantidad de radiación solar en los tubos de vidrio, estos ubicados a lo largo de la línea parabólica, el catalizador comúnmente es utilizado al ser vertido directamente en el fluido a tratar, así mismo también si existen investigaciones con el catalizador fijado en un sustrato (Braham y Harris, 2009). La figura 8 muestra el diseño más común de un reactor de perfil parabólico.

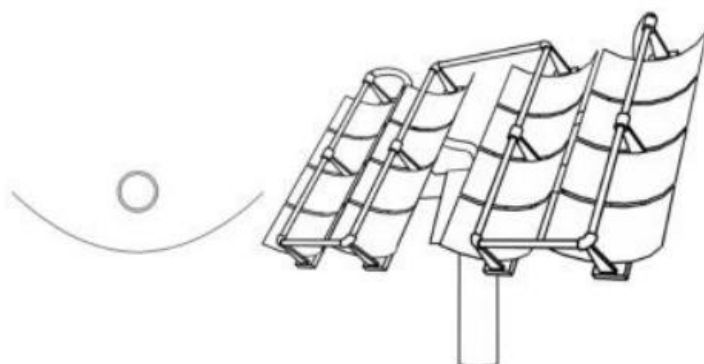


Figura 8. Configuración usual de una RPP adaptado de Braham y Harris, 2009)

Al concentrarse la luz solar en el catalizador este tiende a tener ventaja y a la misma vez su desventaja; la principal ventaja es la capacidad de absorción de radiación entrante, esto permitiría que se utilice menos catalizador, por otro lado, la desventaja sería la poca captura de luz hacia el reactor, esto se a que solo puede capturar la luz que incida directamente y más no la luz que ingresa perpendicularmente, en tal sentido se necesitaría hacer un seguimiento a la dirección de la radiación solar esto incrementará los costos de operación (Braham y Harris, 2009).

Otros problemas relacionados con la concentración de luz son los siguientes según Braham y Harris (2009).

- Típicamente se da una relación no lineal entre la intensidad de la luz y la tasa de reacción, lo cual no necesariamente conlleva a un incremento en la obtención de productos al incrementar el factor de concentración.
- A altas concentración de radiación solar el reactor se calienta, esto trae consigo una alta tasa de recombinación entre el electrón y hueco, esto dado ya que, al incrementar la intensidad, incrementa la cantidad de pares electrón/hueco generados simultáneamente en una partícula de catalizador, así incrementando la recombinación y finalmente disminuyendo la eficiencia del reactor.

El uso de reactores de tipo RPP son utilizados exitosamente en la degradación de diversos contaminantes en el agua: pesticidas, complejos metálicos y bacterias, y existe un número significativo de demostración a escala piloto de tecnológicas fotocatalíticas se han basado en el reactor de tipo RPP (Oyama et al., 2004).

2.1.8.2. Colectores parabólicos compuestos (CPC)

Blanco Gálvez et al. (2004) mencionan que este tipo de reactor fotocatalítico evita los diferentes problemas que afectan la eficiencia y desempeño en comparación con el RPP, una de sus más grandes ventajas de un reactor tipo CPC es que la forma geométrica de la superficie reflectora permite que la radiación tenga contacto indirectamente y así la luz pueda ser reflejada a la superficie del tubo de vidrio.

El factor de concentración y el ángulo aceptado están directamente relacionados según la relación mostrada en la ecuación 1.

$$C_{CPC} = \frac{1}{\sin \theta_{\alpha}} = \frac{a}{2\pi r} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

C_{CPC} : Factor de concentración

θ_{α} : Es la mitad del ángulo de aceptación

α : Ancho de la abertura del reflector

r: Radio del tubo

Si al realizar el cálculo nos da un resultado de 1 de factor de concentración, esto significaría que la mitad de ángulo de aceptación será de 90°, esto significa que toda la luz que tenga contacto directo y difusa con las parábolas será reflejada hacia el tubo de vidrio, véase imagen 9, en tal sentido esto permite que el reactor opere en días nublados donde no hay radiación directa disponible (Blanco Gálvez et al., 2004).



Figura 9. Foto reactor CPC no concentrado adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)

En este tipo de reactores, la radiación solar tiende a tener una mejor distribución por toda la superficie parabólica, así mejorando la reflexión de la luz al catalizador en relación a un PTR, esto permitiendo que un CPC pueda ser adaptado y mejorado a sistemas con catalizadores soportados en un sustrato, en este reactor no es necesario el uso de un mecanismo de rastreo solar logrando una simplicidad y costo del sistema (Braham y Harris, 2009).

Los reactores CPC no concentradores presentan desventajas como:

- Se requiere de una mayor cantidad de catalizador.
- Se requieren tubos absolvedores más anchos y presiones de operación inferiores.
- El área superficial del tubo de una CPC no concentradora debe igualar al área del reflector, esto pone una limitación en que tan grande puede ser el reflector.

Braham y Harris (2009) indica que en cuanto al uso de CPC como método de tratamiento de agua con catalizador en suspensión es recomendable usar un método de recuperación mediante la sedimentación y ultrafiltración.

2.1.8.3. Colectores planos inclinados (CPI)

Si bien es cierto el diseño de tipo PTR y IPC son el resultado de una adaptación de los calentadores solares, y son eficaces en procesos fotocatalíticos, no quiere decir que sean el mejor diseño, quiere decir que existen parámetros operacionales que rigen la eficacia de la fotocatalisis como son: maximizar la transferencia entre la masa y el catalizador, asegurar la adecuada iluminación, en tal sentido un reactor diseñado específicamente para aplicar los parámetros mencionados anteriormente, esto traerá consigo una mayor eficacia en comparación con los rectores de tipo parabólico (Braham y Harris, 2009).

Así, el diseño que cumple con los parámetros es el colector plano inclinado (CPI), este diseño consiste en una superficie plana sobre el cual la película de agua fluye (Blanco Gálvez et al., 2004). La figura 10 muestra un reactor solar tipo CPI.



Figura 10. Reactor solar de tipo CPI adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)

Braham y Harris (2009) explica que mediante este tipo de reactor se puede usar un catalizador fijado en un sustrato ya sea en cualquier material: vidrio metal o inclusive concreto, es una mezcla de un diseño simple y económico, por consiguiente, ha sido fundamental para que este tipo de reactor sea usado en diferentes investigaciones; este tipo de diseño puede capturar la radiación difusa logrando un mayor contacto con la delgada película del fluido, esto traerá consigo altas tasas de transferencia.

Bai et al. (2004) indican que para poder fijar el catalizador se usaron diferentes métodos de inmovilización, uno de ellos fue corrugar la superficie del reactor, trayendo consigo diferentes ventajas como son:

- La corrugación de la superficie incrementa la posibilidad de depositar el catalizador en esta.
- Al tener una corrugación perpendicular a la del sentido del flujo, esto traerá consigo un incremento en el tiempo de residencia, mejorando así la transferencia de masa y el desempeño del reactor.

En tal sentido, así como tiene ventajas, también tiene sus desventajas como diseño a escala piloto o nivel comercial como son:

- Mantener el flujo laminar.
- Susceptibilidad a la evaporación y a interferencias con partículas en el aire.

2.2. Resultados anteriores de investigación

2.2.1. Antecedentes internacionales

La investigación de Rojas-Higuera et al. (2010) tuvieron el objetivo de evaluar tres tratamientos el primero agua residuales provenientes de lagunas de oxidación, el segundo fotocátalisis con dióxido de titanio y el último con desinfección química para inactivar a los Coliformes totales y *E. coli*, que están presentes en aguas residuales de origen domestica que se utilizan para riego agrícola, obteniendo resultados que muestran que el (PTFTiO₂/UV) fue significativamente superior que el tratamiento de lagunaje facultativo (TLF) y el post tratamiento químico (PTQ) NaClO ($p < 0,0001$) obtuvo 100% de inactividad para Coliformes y *E. coli* a los 30 minutos de irradiación a escala de reactor.

Asimismo, Sarria et al. (2005) realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de presentar investigaciones que demuestran que la electro química como la fotoquímica son alternativas prometedoras para aumentar la calidad del agua, la metodología de este trabajo se resume en dos métodos, el primero fue el uso reactores con lámpara solar para los experimentos catalíticos y el segundo un reactor acoplado fotoquímico – biológico para el tratamiento combinado, los resultados demostraron que, si bien la luz ejerce una acción bacteriana, la inactivación de *Escherichia coli* en menor tiempo se realiza cuando se utiliza el Dióxido de Titanio (TiO₂) en suspensión, la desinfección fotocatalítica es una consecuencia de la acción directa de la luz sobre los microorganismos y de la acción de las partículas foto catalíticas excitadas.

Por otra parte, el trabajo de investigación realizado por Guiovana Rincón et al. (2004) con el objetivo de la aplicación de un sistema foto catalítico como un método innovador para la desinfección del agua”, muestran que la metodología usada en este trabajo de investigación fue el uso de un reactor Cilindro-Parabólico Compuesto utilizado tiene tres módulos, cada módulo está conformado por 8 tubos ensamblados sobre una plataforma fija inclinada 46°, y los tres módulos están conectados en serie y mediante ellos fluye el agua, recorriendo por un tanque de recirculación el cual se encuentra conectado a una bomba centrífuga, teniendo de resultado la inactivación de la *Escherichia coli* el cual varía entre 0,025 y 2,0 g/L en dos diferentes intensidades de luz.

De acuerdo, a Corzo Lucioni (2011) quien realizó un proyecto de investigación, teniendo como objetivo la degradación foto inducida para la colorante rodamina B, la metodología usada fue el fotocatalizador con Óxido de zinc (ZnO) y utilizando la luz solar

como fuente de radiación fotónica, con agitación seguida en sistemas expuestos al aire libre, como conclusión obtenida, este trabajo de investigación demostró que la degradación fotocatalítica es un método muy efectiva en la remoción de colorantes en aguas provenientes de industrias textiles, obteniendo como resultado un valor de la constante aparente de velocidad de degradación de la colorante rodamina B de $0,1 \text{ min}^{-1}$.

La investigación realizada por Deza Martí et al. (2017) tuvo como objetivo evaluar experimentalmente la degeneración del colorante azul, Cibacron Navy-H2G, y la metodología usada fue mediante un reactor fotocatalítica de nano partículas industriales de TiO_2 , los mejores resultados del proceso demostraron que la degradación más eficiente se obtuvo con una masa de 0,6 g de nano partículas de Dióxido de Titanio, y una concentración de colorante de 20 ppm y a un pH de 4.

2.3. Marco Legal.

Existe en el Perú un marco legal relacionado al tratamiento de las aguas para consumo humano en general, pero mas no para métodos de abastecimiento subterráneo.

- Ley General del Ambiente N° 2861. La presente ley menciona que el ser humano tiene el derecho de vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado; en tal sentido el estado peruano tiene la obligación de mantener este equilibrio medio ambiental y social (MINAM, 2005).
- Ley de Recursos Hídricos N°29338. La presente Ley regula el uso y manejo de los recursos hídricos. Ya sean fuentes de agua superficial, subterránea, continental así mismo también los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable (ANA, 2009).
- Decreto Supremo N° 031 – 2010. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. El presente Reglamento establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población (MINSAL, 2010).

2.3.1. Límites Máximos Permisibles para parámetros microbiológicos y parasitológico DS. N°031-2010-SA.

Se publicó en el diario oficial el peruano los Límites máximos permisibles con fecha 26 de Setiembre del 2010, véase la tabla 3.

Tabla 3.

Límites Máximos permisibles para parámetros microbiológicos y parasitológicos

PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
• Bacterias coliformes totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
• <i>E. coli</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
• Bacterias Coliformes Termotolerantes y Fecales	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
• Bacterias Heterotróficas	UFC/ mL a 35°C	500
• Huevos y larvas de Helminontos, quistes y ooquites de protozoarios patógenos	N° org/L	0
• Virus	UFC/ mL	0
• Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus estados evolutivos	N° org/L	0

Fuente: DS. N°031-2010 SA.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del lugar de ejecución

La construcción del reactor fotocatalítico, se realizó en la Villa Chullunquiani, del distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, este proyecto tuvo una duración de 3 meses.

3.1.1. Datos de ubicación del lugar experimental

En la tabla 4 muestra la ubicación geográfica del área de experimentación en coordenadas universal transversal de Mercator (UTM).

Tabla 4.

Coordenadas geográficas en Unidades cartográfica transversa de Mercator (UTM).

Lugar	Coordenadas Geográficas UTM		
	Este	Norte	Altitud
Lugar de ejecución	373154	8284161	3841 m

Fuente: Google Earth

3.2. Materiales, insumos, equipos y formatos

3.2.1. Materiales

La tabla 5 muestra los materiales que se utilizaron en la construcción del reactor fotocatalítico.

Tabla 5.**Materiales de construcción del reactor foto catalítico**

Herramientas	Tuberías	Vidrios	Otros
Pala	Codo IPS Ø 2''	Tubos de vidrio de Ø 2''	Estructura de metal soldado
Pico	Niple IPS de Ø 2''		Varillas de madera
Kit Alicates	Unión HH IPS de Ø 2''		Cinta Teflón
Cinta métrica	Reductor IPS de Ø 2'' a Ø 1''		Silicona Sika
Brocha	Tubo IPS de Ø 1''		Dremel 3000
	Válvula Bola PVC de Ø 1''		Kit Pintura Epoxica Titanic
	Unión Universal IPS de Ø 1''		Pegamento

La tabla 6 muestra la relación de los materiales de campo, insumos, equipos, laboratorio y formatos.

Tabla 6.**Materiales de campo, insumos, equipos y formatos**

Materiales de campo	Insumos	Equipos	Formatos
Guantes y gorra	Dióxido de Titanio	GPS, Garmin etrex10	Cadena de custodia
Cooler	Agua de pozo	Cámara fotográfica	Registro de datos de campo
Frascos de Borosilicato 200 ml	Hielo	Cronometro	
Jarra de 1 L			
Balde de 20 L			

3.3. Metodología**3.3.1. Toma de muestra de agua**

Para la toma de muestra del agua se empleó la Resolución Directoral 160-2015 – DIGESA del “Protocolo de procedimiento para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano” (MINSa, 2015).

Tabla 7.**Procedimiento de monitoreo de la muestra de agua**

Parámetros	Recipiente	Volumen	Muestreo
Escherichia Coli (UFC/100mL A 44.5°C)	Borosilicato esterilizado	200 mL	No fue sometido a enjuague, la toma de muestra fue directa dejando un espacio de aireación y mezcla. Luego se procedió a rotular la muestra para ser transportada al laboratorio.
Potencial de Hidrógeno (pH)	Borosilicato esterilizado	200 mL	La toma de muestra fue directa. Luego se procedió a rotular la muestra para ser transportada al laboratorio.

Fuente: RD. 160 -2015 DIRESA

El agua que se empleó fue subterránea y fue monitoreada en la Urb. Santa Aurelia del Distrito de San Miguel de la Provincia de San Román de la Región Puno.

3.3.2. Método de análisis de los parámetros monitoreados

Los análisis de los parámetros monitoreados fueron realizados en el laboratorio B&C S.A.C. "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos" de la ciudad de Juliaca. La tabla 8 muestra los métodos de análisis.

Tabla 8.**Métodos de análisis de los parámetros**

Parámetros	Método de análisis
Escherichia Coli (UFC/100mL A 44.5°C)	Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW, WEF. Part 9221 D.21 th ed 2005.
Potencial de Hidrógeno (pH)	Potenciómetro

3.3.3. Diseño de reactor

Para la selección de componentes del reactor se investigó diferentes tipos de reactores fotocatalíticos utilizados para la desinfección del agua. La tabla 9 muestra un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas operativas y constructivas de tres diseños de reactores según (Gamboa Gamboa, 2014).

Tabla 9.**Ventajas y desventajas de reactores fotocatalíticos**

Reactor	Ventajas	Desventajas
PTR	<input type="checkbox"/> Alta concentración de la radiación	<input type="checkbox"/> No capta radiación difusa
	<input type="checkbox"/> Permite usar poco catalizador (TiO ₂).	<input type="checkbox"/> Requiere un mecanismo de seguimiento solar
	<input type="checkbox"/> Permite operar a altas presiones	
CPC	<input type="checkbox"/> Capta radiación difusa	<input type="checkbox"/> Se requiere mayor cantidad de catalizador (TiO ₂).
	<input type="checkbox"/> La radiación se distribuye de manera uniforme en el tubo.	<input type="checkbox"/> Se requieren tubos absorbentes más anchos
	<input type="checkbox"/> No requiere mecanismo de rastreo solar	
CPI	<input type="checkbox"/> Capta radiación difusa y no requiere superficie reflectora	<input type="checkbox"/> Difícil adaptación a un sistema de captación de gases
	<input type="checkbox"/> Fácil construcción	<input type="checkbox"/> Pobre desempeño en procesos de alta presión
	<input type="checkbox"/> Versatilidad en cuanto a materiales de construcción	<input type="checkbox"/> Se puede dar retención de fluido.

Fuente: Gamboa Gamboa (2014)

En la investigación el diseño del reactor tuvo un grado significativo de captación solar, así mismo el consumo de energía es menor durante su operación, considerando que la falta de energía para su funcionamiento sería una complicación en zonas rurales y periurbanas, donde no se cuenta con recursos económicos suficientes para su uso.

Se consideró en el diseño características de los reactores de tipo perfil parabólico compuesto (CPC) y de colector plano inclinado (CPI), para potencializar la captación de radiación solar difusa, con el objeto de aprovechar las desviaciones de radiación solar al tener contacto con las nubes, especialmente en la zona alto andinas del Perú en donde la nubosidad puede presentarse en cualquier momento del día.

Este nuevo diseño híbrido requiere que el catalizador (TiO₂), este fijado en un sustrato (pared de los tubos), para que de esta manera el catalizador tenga contacto con todo el fluido, la finalidad de esto es que el agua a tratar no se mezcle con el catalizador (TiO₂) sino solo tenga contacto con el fluido, esta característica disminuiría el costo de limpieza y separación del catalizador del fluido. Para limpiar la sedimentación de pequeñas partículas del catalizador (TiO₂) el reactor fotocatalítico tuvo una válvula de purga con la finalidad de limpiar las impurezas que se pueden producir por desgaste del catalizador. Así mismo, se consideró en el diseño el ángulo de inclinación del reactor con la finalidad de sedimentar el

material desprendido del sustrato fijado con el catalizador (TiO_2) por su propio peso y gravedad.

De acuerdo a todo lo mencionado, la característica de diseño del reactor que se construyó en la investigación tiene un bajo costo de construcción y un alto índice fotocatalítico. Los parámetros de diseño considerados fueron:

- Caudal mínimo de operación.
- Diámetro de los tubos de vidrio fotocatalítico.
- Dimensión del reactor fotocatalítico.
- Dirección y ángulo geométrico para reflejar la radiación solar.
- Materiales de superficie reflectante y de los tubos.
- Método de fijación del catalizador en el sustrato.
- Tipo de tubería.
- Válvula de purga del reactor.

La figura 11 muestra las partes del reactor fotocatalítico diseñado.

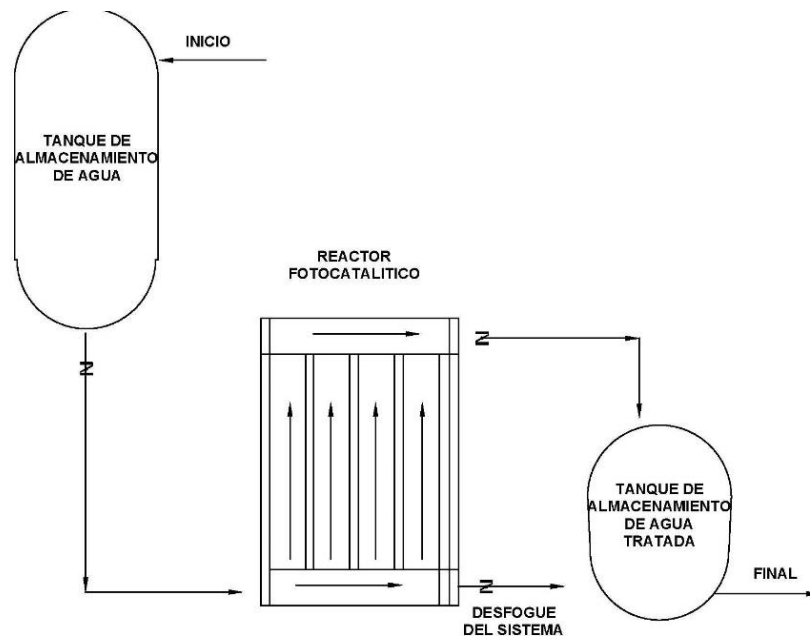


Figura 11. Partes del reactor fotocatalítico

3.3.3.1. Tipo de material de la superficie reflectante

Se mencionó anteriormente el tipo de superficie reflectante usado en el reactor CPI, no indica un material específico, sin embargo, se seleccionó el más idóneo, considerando la capacidad de reflectancia de radiación solar.

Se consideró el Nivel de reflectancia de distintos metales. La Figura 12 muestra un gráfico la reflectividad de diversos metales en rangos desde 200 nm hasta los 1000nm.

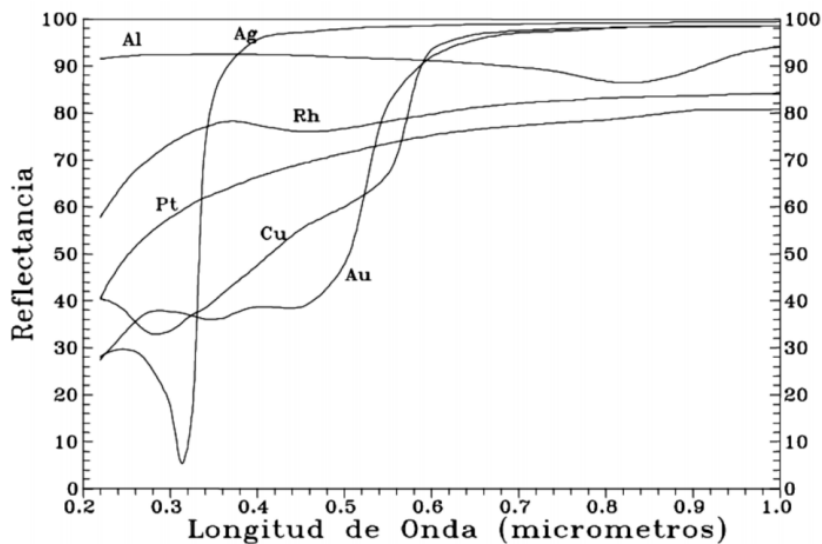


Figura 12. Nivel de reflectancia de distintos metales adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)

La figura 12 muestra que el metal con mayor reflectividad es la plata, sin embargo, su uso en el diseño del reactor se ve limitado debido a su costo de inversión económica, el aluminio se encuentra con un rango alto como material reflectante, y por debajo se encuentran el cobre y el oro, Comparando los metales analizados, se seleccionó al aluminio como el material más eficiente y económico.

3.3.3.2. Tipo de tubo de vidrio.

Para el diseño del reactor fotocatalítico se consideró el tubo de vidrio por su alto índice de transmitancia de radiación UV. Por general los vidrios y polímeros poseen buena transmitancia, esto no indica el uso de cualquier tipo de tubo, al contrario, también fue necesario saber si estos tubos tienen una buena resistencia mecánica. La figura 13 muestra la transmitancia que caracterizan a los diferentes materiales ante el espectro incidente en la superficie terrestre.

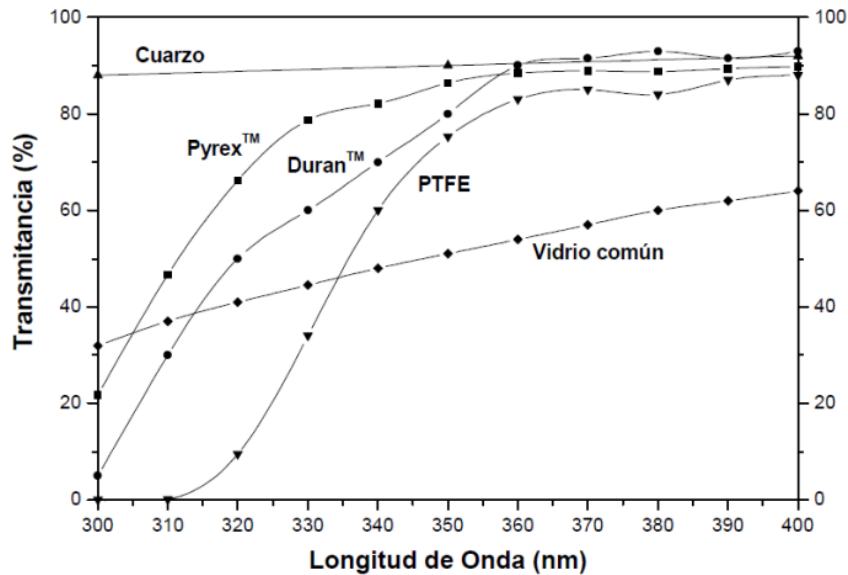


Figura 13. Transmitancia de diferentes materiales válidos para reactores fotocatalíticos en el espectro ultravioleta adaptado de Blanco Gálvez et al. (2004)

Las condiciones a las cuales estuvieron expuestas estos tubos requirieron el uso de un material cristalino, específicamente el cuarzo y el vidrio. No se consideró el cuarzo por su alto costo de adquisición y porque contiene hierro, lo que provoca la decaída de la radiación UV, siendo el vidrio la única opción viable, Conteniendo un porcentaje de hierro bajo en su estructura como, por ejemplo: Vidrios borosilicatos como Duran y Pyrex.

El material del tubo fotocatalítico seleccionado fue borosilicato (Duran y Pyrex), según el gráfico muestra una gran transmitancia al rango de luz ultravioleta, así mismo son económicos y tienen resistencia mecánica.

3.3.3.3. Dirección y ángulo geométrico que define la superficie reflectora del reactor

Se consideró un ángulo para captar la mayor cantidad de radiación solar en los tubos de vidrio, un ángulo que sea eficiente, se logrará un mayor contacto con el fluido que circulará en los tubos, si el ángulo no es el adecuado el reactor no podrá tener la eficacia necesaria al desinfectar el agua. El ángulo seleccionado también tiene la función de evitar que el agua sea calentada por la radiación solar, este problema traería como consecuencia es el aumento de presión dentro del tubo.

Se empleó las recomendaciones de la compañía Energy Sunflower Renewable (2019), para que el reactor fotocatalítico logre un rendimiento óptimo con un ángulo de inclinación del rango de 20°- 60°, y un margen de error de menos de 20°, en un rango de

20° a 40°. La dirección del reactor depende del hemisferio de ubicación, por lo que se consideró la dirección del norte para el reactor fotocatalítico por estar ubicado en el hemisferio sur la ciudad de Juliaca. La figura 14 muestra el ángulo en el que se monta el colector según a la latitud de ubicación.

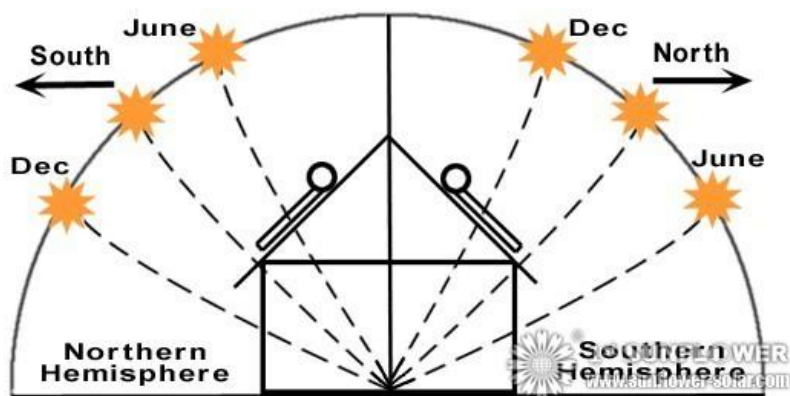


Figura 14. El ángulo en el que se monta el colector según a la latitud de ubicación adaptado de Energy Sunflower Renewable, 2019)

3.3.3.4. Método de fijación del catalizador en el sustrato

Los métodos de fijación, en su mayoría requieren el uso de un laboratorio e insumos químicos, el método más utilizado es conocido como fijación por Sol – Gel. Sin embargo, Hench y West (1990), mencionan que se requiere de una inversión económica mayor, y así mismo, la dificultad de localizar laboratorios que sean especialistas en este método. Para la fijación del catalizador (TiO_2) se consideró que este sea económico y de fácil disponibilidad.

Se requiere que este proceso sea rápido y sencillo, en tal sentido para realizar la fijación del catalizador se utilizó como sustrato la madera, y se adhirió con una pintura epóxica con la finalidad de fijar en el sustrato al catalizador y evitar que el fluido arrastre al mismo, y evitar que la madera absorba humedad.

Para fijar el catalizador primero se pintó la madera con la pintura epóxica de color blanco, luego se procedió a espolvorear el dióxido de Titanio, en toda la superficie de las varillas de madera buscando uniformidad en la superficie de contacto con el fluido a tratar, para luego dejarla secar por 48 horas hasta su secado completo.

3.3.3.5. Diámetro de los tubos de vidrio tipo Pyrex

Según, Blanco Gálvez et al. (2004) indican que, aunque los usos de tubos de diámetro menor podrían permitir una radiación más eficiente y así un incremento en el contacto con el catalizador (TiO_2), esto provocaría la caída de presión por consiguiente se requeriría una mayor potencia en el flujo, de igual manera si el diámetro del tubo sería mayor tendría la desventaja de disminuir la concentración de la radiación solar en el catalizador.

Para la construcción del reactor fotocatalítico se seleccionó, tubos de vidrio tipo Pyrex de diámetro exterior de 2 pulgadas (5.8 cm) y 2 mm de espesor, con el objeto de que pueda contener a la varilla de madera que tiene fijado al catalizador. Así, los rayos de ultravioleta pueden penetrar en el tubo y tener contacto con el catalizador.

3.3.3.6. Tipo de tubería de plástico.

Este parámetro es importante al momento de diseñar y construir un reactor, ya que inicialmente se tiene que conocer el diámetro de tubo de vidrio que se usará, a la misma vez también se debe saber si estos diámetros y tipos de tubería existen en el mercado de la localidad. Para la construcción del reactor fotocatalítico se consideró la tubería de plástico tipo IPS por su alta resistencia a las altas presiones y temperaturas que son adecuadas al nivel de exposición en la Ciudad de Juliaca que está ubicada encima de los 3800 msnm.

3.3.3.7. Caudal de operación.

Para la determinación del caudal se consideró las indicaciones del “Manual N° 5 Medición de agua” del MINAGRI (2015), considerando tiempo de contacto entre el fluido, catalizador y radiación solar. A menor caudal mayor tiempo de contacto, mayor radiación solar y como consecuencia mayor reacción química dentro del reactor fotocatalítico. La ecuación 2 del manual del MINAGRI determina el caudal de fluido.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Dónde “Q” es el caudal en m^3/s , “V” es el volumen en litros (L) y “T” es el tiempo en segundos.

3.3.3.8. Capacidad de almacenamiento de agua a tratar en el reactor.

Para lograr la determinación de la capacidad de almacenamiento de agua del reactor se empleó la fórmula de volumen de un cilindro,

$$A = \pi r^2 * h \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Dónde: “r” es el radio en cm y “h” es la altura en cm.

3.3.3.9. Desfogue de residuos del reactor.

Se consideró en el diseño y construcción del reactor fotocatalítico una válvula de desfogue, con la finalidad de realizar la limpieza de las impurezas sedimentadas en el reactor.

3.4. Datos Meteorológicos

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la UPeU, Campus Juliaca marca DAVIS modelo Vantage Pro2, en la tabla 10, se muestran las coordenadas de ubicación del lugar experimental y la estación meteorológica.

Tabla 10.

Ubicación de la estación meteorológica y el lugar experimental

Ubicación	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Altitud (msnm)
Reactor fotocatalítico	373154	8284161	3841
Estación Meteorológica	373557	8284414	3838

3.5. Diseño de investigación

Esta investigación es de tipo experimental correlacional, porque relaciona el efecto de la variable independiente (fotocatálisis heterogénea), sobre la variable dependiente (presencia de *Escherichia coli*), de las aguas subterráneas de las zonas rurales de Juliaca que se utilizan para consumo humano.

3.6. Variables en estudio

Las variables de estudio son:

Variable independiente : Fotocatálisis con Dióxido de Titanio

Variable dependiente : Inactivación de *Escherichia coli*

3.7. Esquema del procedimiento del experimento

En la figura 15 muestra el procedimiento de investigación.

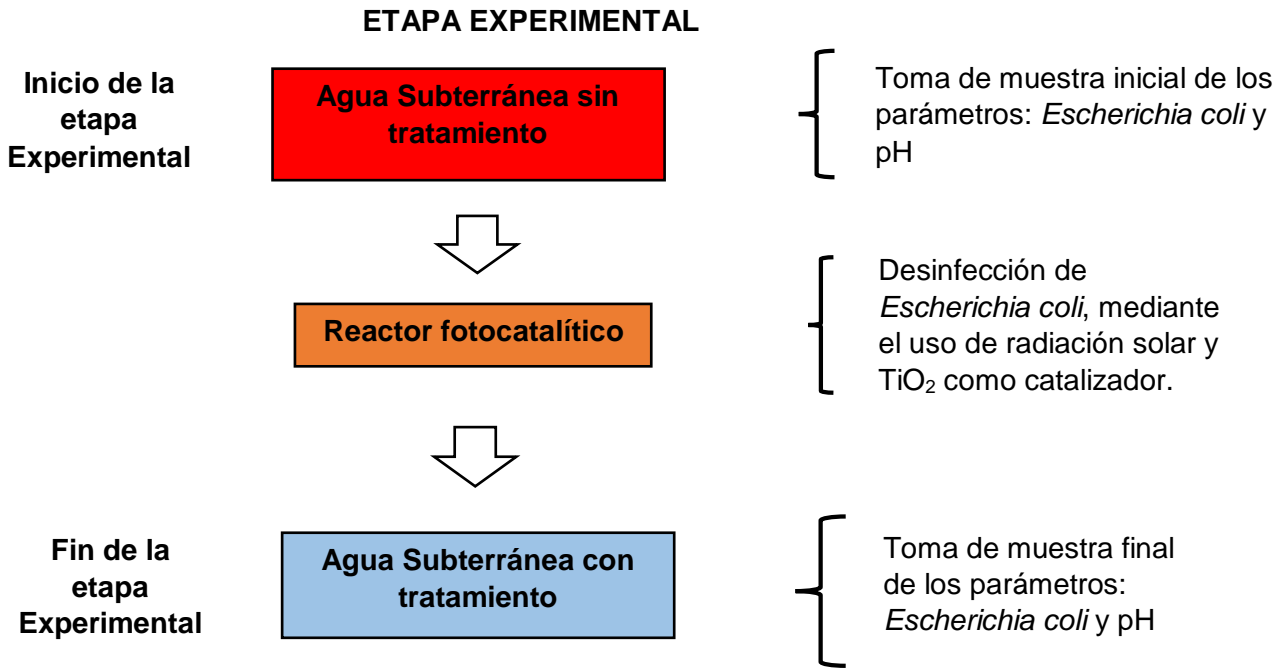


Figura 15. Esquema del procedimiento experimental

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La parte experimental se realizó en Villa Chullunquiani, Juliaca –Puno, a 3850 msnm, y se sometió el reactor fotocatalítico a condiciones ambientales no controladas. Se determinó el caudal promedio empírico de operación del reactor fotocatalítico empleando la ecuación 2 (ver anexo H), el resultado del caudal empírico promedio por hora en el reactor fotocatalítico es de 9.30 L/h, garantizando mayor tiempo de contacto del agua a tratar con el catalizador (TiO_2) y mayor tiempo de exposición con la radiación solar.

4.1. Diseño y construcción del reactor fotocatalítico

Para el diseño se consideró las condiciones de exposición a las que se expuso el reactor fotocatalítico, la tabla 11 muestra un resumen de las especificaciones técnicas del reactor fotocatalítico.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas del reactor fotocatalítico

Especificación	Valor
• Configuración básica	Hibrido de un reactor tipo CPC y CPI
• Material de superficie	Aluminio
• Diámetro de los tubos	5.8 cm
• Dirección del reactor fotocatalítico	NORTE
• Angulo de inclinación del reactor fotocatalítico	35°
• Tipo de tubería	PVC tipo IPS
• Volumen iluminado	1.848 L
• Volumen total	7.394 L
• Dimensiones del reactor fotocatalítico	90 cm de alto y 55 cm de ancho
• Método de circulación del fluido	Gravedad

El reactor fotocatalítico tiene un diseño híbrido de un reactor de tipo CPC (Colector parabólico compuesto) y un reactor CPI (colector plano inclinado), con la finalidad de incrementar la captación y distribución de la radiación solar en el reactor fotocatalítico, como se muestra en la figura 16.

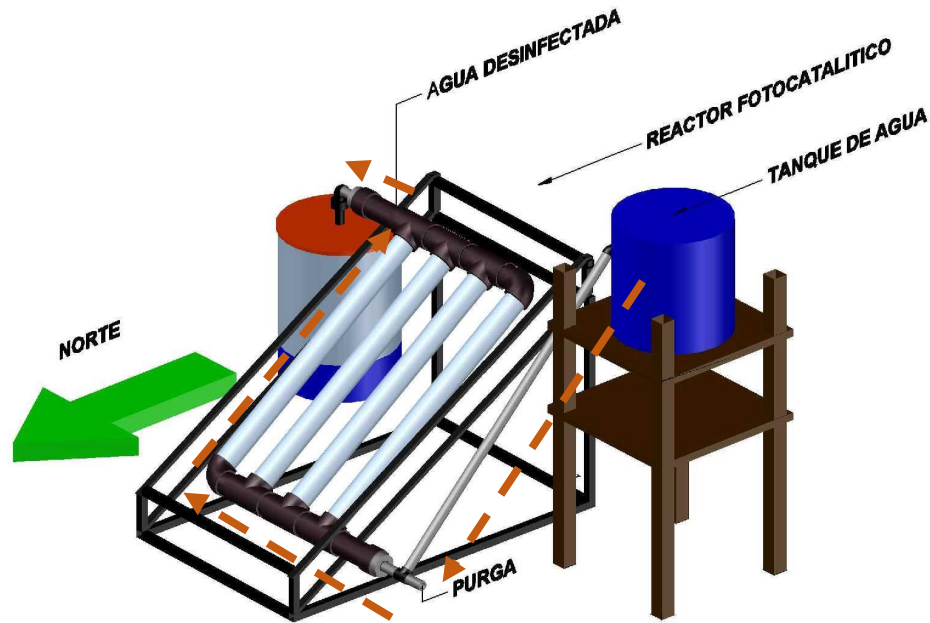


Figura 16. Reactor fotocatalítico

La figura 16 muestra al reactor fotocatalítico, que inicia en el tanque de almacenamiento del agua a tratar, que se encuentra en la parte superior. El fluido desciende e ingresa por la parte inferior de los tubos de vidrio fotocatalíticos ascendiendo uniformemente por diferencia de presión por los cuatro tubos de vidrio de tipo Pyrex, exponiendo el fluido al contacto directo con el catalizador y la radiación solar, inactivando al Escherichia coli presente en el agua, y finalmente el agua ya tratada se almacena en un recipiente que se encuentra en la parte final del circuito del reactor fotocatalítico.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas de los tubos de vidrio del reactor fotocatalítico

Especificaciones	Tipo
• Material de tubo de vidrio	Borosilicato
• Tipo de Tubo	Pyrex
• Diámetro externo (cm)	5.8
• Diámetro Interno (cm)	5.4
• Espesor (cm)	0.4
• Longitud (cm)	70

La tabla 12 muestra las dimensiones y características específicas de los tubos fotocatalíticos que fueron utilizados para realizar el experimento, se empleó vidrio Borosilicato de tipo Pyrex por su alta resistencia a temperaturas extremas, con un diámetro externo de 5.8 cm, un espesor de 0.4 cm y 70 cm de largo. La figura 17 muestra el diámetro externo del tubo de vidrio fotocatalítico.

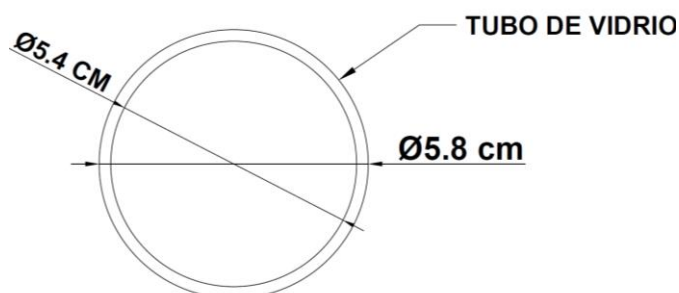


Figura 17. Corte transversal del tubo de vidrio fotocatalítico de tipo Pyrex

La tabla 13 muestra los accesorios empleados para el ensamblaje del reactor fotocatalítico

Tabla 123.

Accesorios empleados para el ensamblaje del reactor fotocatalítico

Accesorio	Cantidad	Diámetro
• "T" PVC de tipo IPS	6	2 pulgadas
• Codo de 90° PVC de tipo IPS	2	2 pulgadas
• Reducción de PVC de tipo IPS	2	2 a 1 pulgadas
• Tubo PVC de tipo IPS	1	150 cm
• Llave tipo rosca	2	1 pulgadas
• Codos PVC de tipo IPS	2	1 pulgadas
• "T" PVC de tipo IPS	1	1 pulgadas
• Unión universal PVC de tipo IPS	2	1 pulgadas

En la tabla 13 muestra los accesorios de tubería de tipo PVC y tubería de plástico tipo IPS, que tuvo la finalidad de unir y evitar la ruptura de la tubería de vidrio por efectos de dilatación generada por el incremento de temperatura por la radiación.

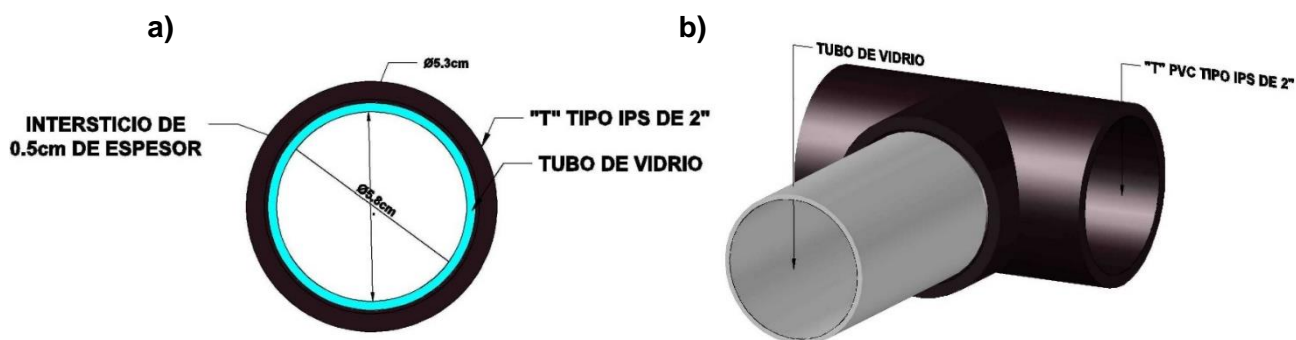


Figura 18. Unión del tubo de vidrio y tubería IPS. a) Vista frontal y b) Vista isométrica

La figura 18 muestra una vista frontal e isométrica de la unión del tubo de vidrio tipo Pyrex y la tubería de tipo IPS, ambos de 2" pulgadas de diámetro. La tabla 14 muestra el volumen de tubería de vidrio Pyrex y Sujetador de sección de Tubos IPS, empleando para el cálculo de volumen la ecuación 03 (ver anexo L).

Tabla 134.

Capacidad de almacenamiento del reactor

Parte del reactor	Cantidad	Capacidad de almacenamiento Unitario (L)	Capacidad de almacenamiento Total (L)
• Tubos de vidrio tipo Pyrex	4	1.848	7.394
• Sujetador de sección de Tubos IPS	2	2.089	4.179
• Total	6	3.937	11.573

El reactor fotocatalítico consta de cuatro tubos en sección de vidrio tipo Pyrex los cuales tienen una capacidad unitaria de almacenamiento de 1.848 L, con capacidad total 7.394 L. Dos secciones de sujetadores de tubos IPS colocados en la parte inferior y superior, con capacidad 4.179 L y almacenamiento total del fluido a tratar de 11.573 litros (L), como se muestra en la figura 19.

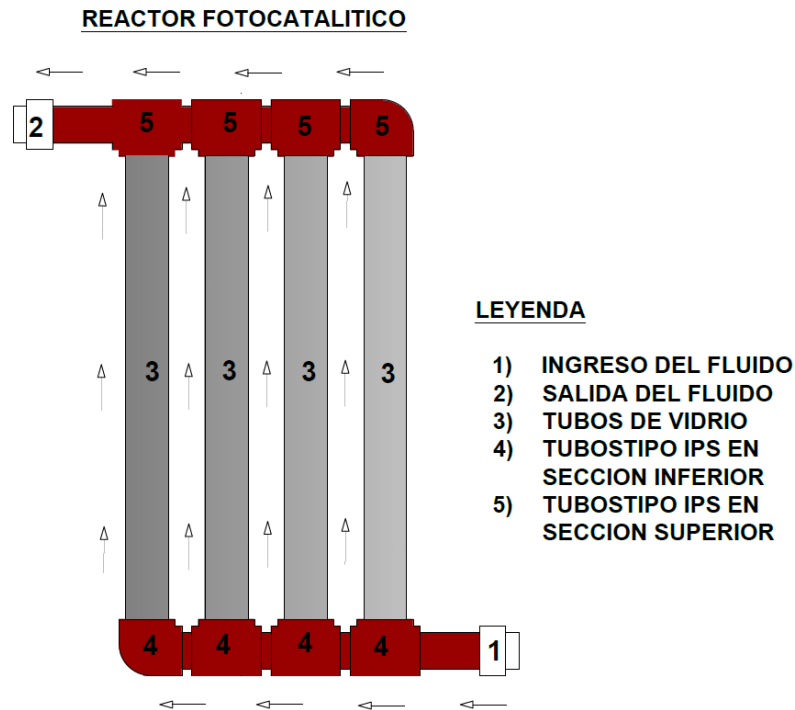


Figura 19. Vista de planta de la sección de tubos (vidrio Pyrex y IPS) del reactor fotocatalítico

La tabla 15 muestra los Materiales empleados en el ensamblaje de la plataforma del reactor fotocatalítico

Tabla 15.

Materiales empleados en el ensamblaje de la plataforma del reactor fotocatalítico

Materiales	Cantidad (unidades)	Longitud (cm)
• Espesor de la varilla	0	0.3
• Varilla de acero inferior	2	79
• Varillas de acero superior	2	92.55
• Varilla de acero frontal y trasero	2	55
• Varillas de acero vertical corto	8	15.01
• Varillas de acero vertical trasero	2	47
• Pernos de acero	36	1/2"

La tabla 15 muestra los materiales empleados en la construcción de la plataforma del reactor fotocatalítico, el acero empleado es de tipo ANG DUAL A36/A572-G50 de un 1/4" por su alta resistencia mecánica.

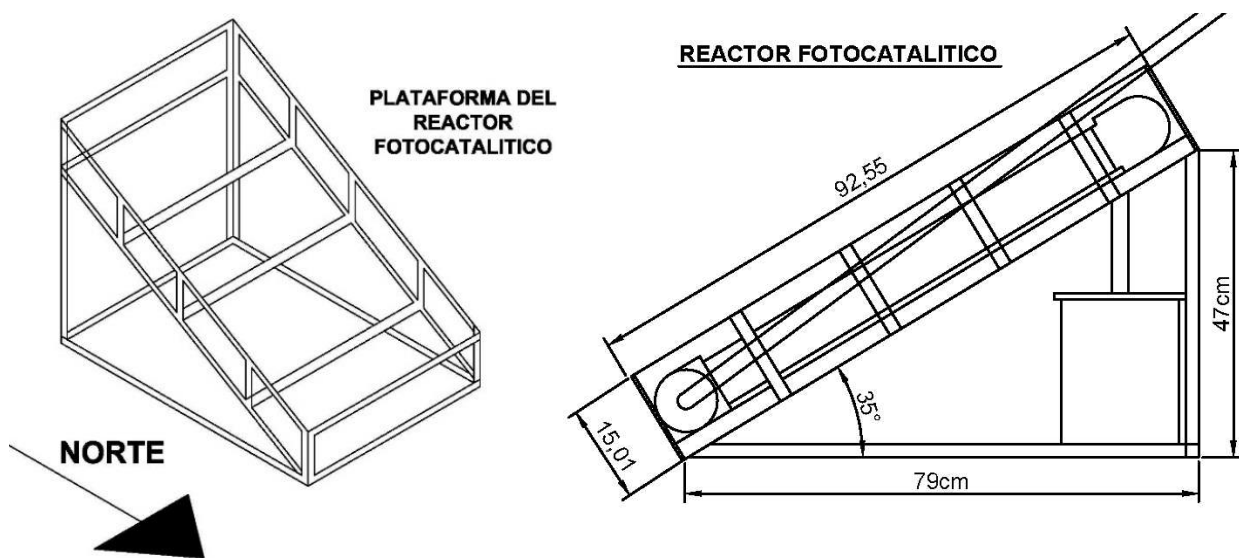


Figura 20. Plataforma del reactor fotocatalítico de metal. a) Vista Isométrica y b) vista de perfil

La figura 20 muestra una vista isométrica de la estructura de metal del reactor fotocatalítico, con un ángulo de inclinación de 35° en dirección norte para aprovechar la radiación solar el mayor tiempo durante el día. Las dimensiones de la estructura en la tabla 18, fueron seleccionadas teniendo en cuenta las dimensiones de los tubos y accesorios al momento de ser ensamblado, mediante este se forma un ángulo de 35° mirando hacia el norte según las recomendaciones de la compañía Energy Sunflower Renewable, que indica que se requiere graduar el ángulo en un rango de 20°- 60°.

La tabla 16 muestra las dimensiones de la bolsa de aluminio que se empleó para cubrir superficie de la base de los tubos de vidrio Pyrex, con la finalidad de incrementar la temperatura por efectos de refracción de los rayos solares hacia los tubos.

Tabla 14. Dimensiones entre la bolsa de aluminio y la superficie del reactor

Componente	Lado	Dimensiones (cm)
Bolsa de Aluminio (Al)	Largo	90
	Ancho	60
Superficie del reactor	Largo	92
	Ancho	55

En la tabla 17 muestra los materiales empleados para la fijación del catalizador.

Tabla 15.

Materiales empleados para las varillas fotocatalíticas

Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Dióxido de titanio en polvo (ANATASA)	1	300 g
Varillas de Madera de Φ 1"	4	70 cm
Pintura epóxica	1	1 galón

El dióxido de Titanio empleado es de tipo Anatasa la más común en temas de actividad fotocatalítica. Después de seleccionar los materiales adecuados y diseñar el reactor fotocatalítico se procedió a ensamblar la plataforma de acero de acuerdo al diseño planteado empleando los materiales de la tabla 18. La figura 21 muestra la Plataforma ensamblada de reactor fotocatalítico.



Figura 21. Plataforma ensamblada de reactor fotocatalítico

Para el apoyo de la estructura de tubería se empleó triplay de 4 mm de espesor con dimensiones de 54x90 cm. Para aumentar la refracción del sol se cubrió la plancha de triplay con bolsas recicladas de aluminio obtenidas de las cajas de agua para consumo humano, ver figura 22.



Figura 22. Bolsa reciclada de aluminio

El diseño híbrido del reactor de tipo CPC y CPI se montó con tubos de vidrio tipo Pyrex, accesorios de gasfitería PVC y tipo IPS como muestra la tabla 13, y como insumo de adherencia se utilizó silicona negra por su alto índice de resistencia solar y reducción de la propagación de Moho (ver figura 23).



LEYENDA

- 1) INGRESO DEL FLUIDO
- 2) SALIDA DEL FLUIDO
- 3) TUBOS DE VIDRIO
- 4) TUBOSTIPO IPS EN SECCION INFERIOR
- 5) TUBOSTIPO IPS EN SECCION SUPERIOR

Figura 23. Vista de Planta del circuito de tubería de tipo Pyrex montado con tubería PVC de tipo IPS.

Para la fijación del catalizador en el sustrato, se cortaron 04 varillas de madera de 1” pulgada de diámetro, en longitudes similares de 70 centímetros de largo y pulidos para su posterior pintado, utilizando pintura “epóxica” así mismo se pesó 300 gramos de dióxido de Titanio. Para así tamizarlo y espolvorearlo sobre las varillas de madera con el objetivo de que las partículas del catalizador queden adheridas a la pintura y finalmente se dejó secar durante 5 días. La figura 24. Muestra las varillas de madera cubiertas con polvo de dióxido de Titanio



Figura 24. Tubos fijados con Dióxido de Titanio (TiO_2)

Para el ensamblado de los tubos de vidrio más la varilla de madera cubierta con el catalizador, se introdujo las varillas dentro de los tubos Pyrex anclándolos con los accesorios de tipo IPS colocados en la base para evitar que la presión del fluido pueda originar ruptura en la tubería de vidrio, luego se colocó la base superior de los tubos de tipo IPS sobre los tubos de vidrio Pyrex, sellando el sistema con silicona Sikasil E Negro (ver figura 25).



LEYENDA

- 1) INGRESO DEL FLUIDO
- 2) SALIDA DEL FLUIDO
- 3) TUBOS DE VIDRIO
- 4) TUBOSTIPO IPS EN SECCION INFERIOR
- 5) TUBOSTIPO IPS EN SECCION SUPERIOR
- 6) VARILLA DE MADERA CON CATALIZADOR

Figura 25. Circuito de tubería de vidrio Fotocatalítico con varillas de madera fijadas con el catalizador (TiO₂).

El recipiente empleado para el almacenamiento de agua a tratar fue un bidón de capacidad de 50 L colocado a 80 cm del nivel del suelo en una plataforma de madera y para el agua tratada un balde de capacidad de 10 L colocado a nivel del suelo. La figura 26 muestra al reactor ensamblado en campo abierto expuesto a la radiación solar mirando hacia el norte.



Figura 26. Reactor ensamblado A) sin catalizador y B) con catalizador.

4.2. Determinación de los parámetros de *E. coli* y pH antes y después de los tratamientos en el reactor fotocatalítico con TiO₂, comparando con la norma nacional vigente.

La tabla 18 muestra los resultados iniciales de las muestras antes del tratamiento, donde se observan las concentraciones de presencia de *Escherichia coli* y pH, haciendo las comparaciones con los límites máximos permisibles, todos ellos sobrepasan los parámetros establecidos para agua de consumo humano.

Tabla 168.

Resultados iniciales de presencia de *E.coli* y pH antes de tratar el agua en el reactor

Tratamientos	Escherichia Coli UFC/100 mL (44.5°C)	Potencial de Hidrogeno (pH)	LMP DS. N°031-2010 SA.	
			<i>E. Coli</i>	pH
Tratamiento 1 sin TiO ₂	11	8.4		
Tratamiento 2 Con TiO ₂	14	8.68	0	6,5 a 8,5
Tratamiento 3 Con TiO ₂	2400	8.85		
Tratamiento 4 Con TiO ₂	43	8.58		

Los resultados iniciales de presencia de *E. Coli* en el tratamiento 1 sin TiO₂ indica que tiene presencia de 11 UFC/100 mL (44.5°C), así mismo en el tratamiento 2 con TiO₂ se observa 14 UFC/100 mL (44.5°C), en el Tratamiento 3 con TiO₂ 2400 UFC/100 ml (44.5°C), y en el Tratamiento 4 con TiO₂ se presenta la existencia de 43 UFC/100 mL (44.5°C).

4.2.1. Cinética de inactivación de *Escherichia coli*

Para obtener la cinética de inactivación de *Escherichia coli*, se analizó los datos de los cuatro tratamientos en cuatro días diferentes, monitoreados en tres momentos diferentes. La figura 27 presenta las Cinéticas de inactivación *Escherichia coli* de los tratamientos en el reactor fotocatalítico.

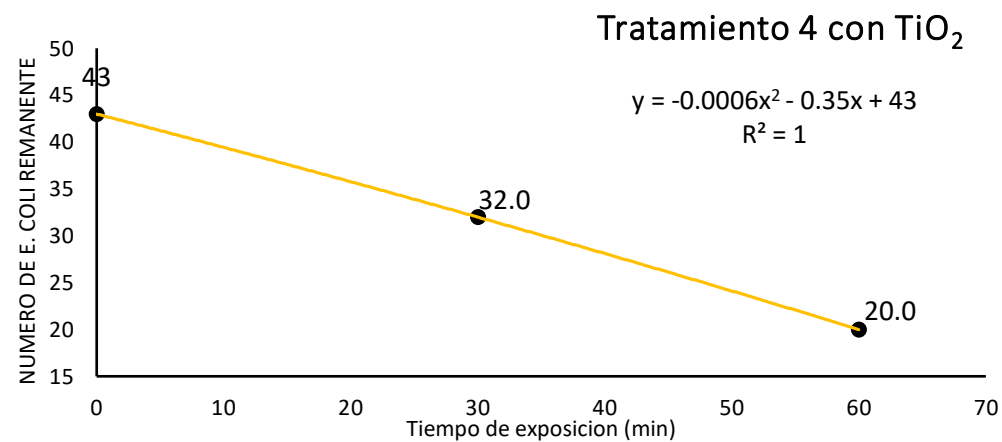
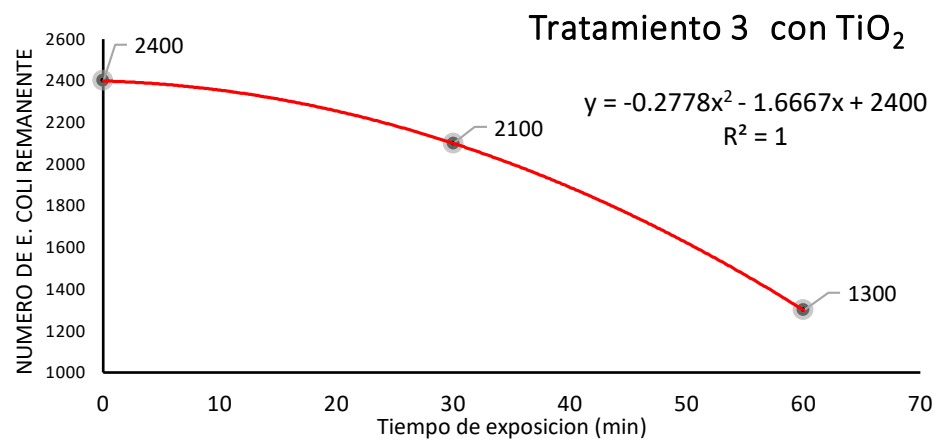
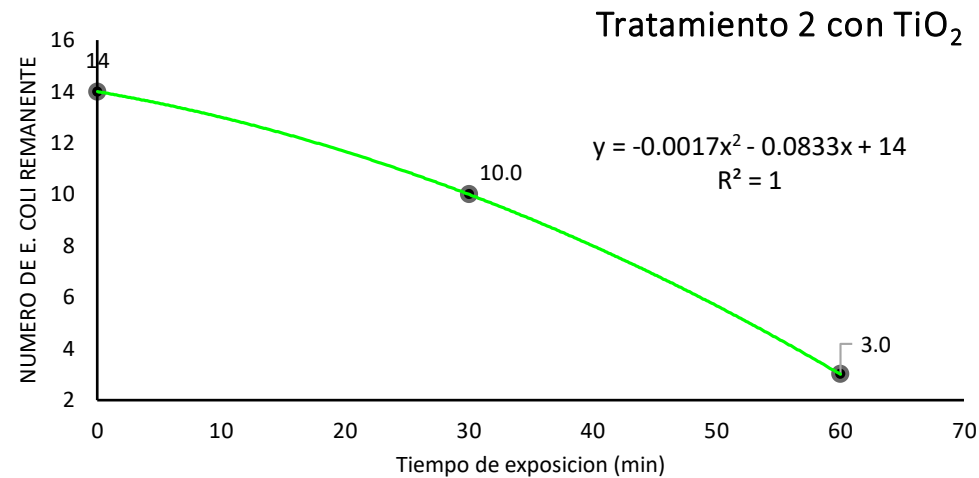
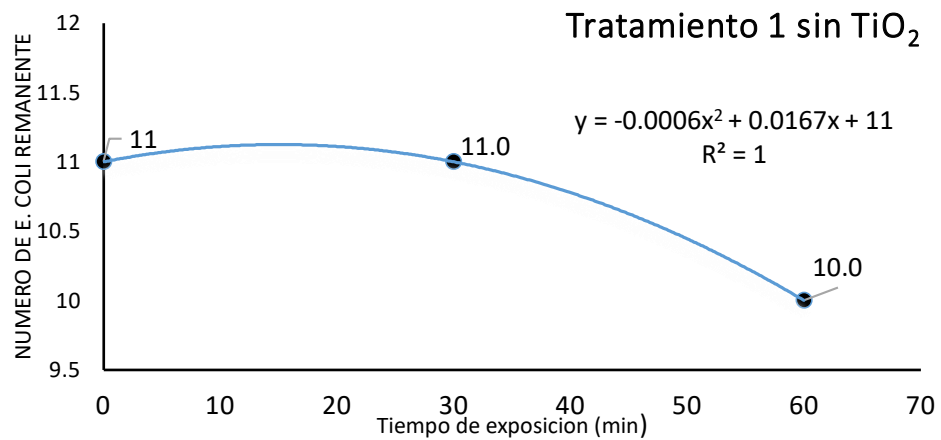


Figura 27. Cinéticas de inactivación *Escherichia coli* de los tratamientos en el reactor fotocatalítico

La figura 27 demuestra que el comportamiento de los tratamientos responde a una ecuación cuadrática, con estas ecuaciones se realiza una simulación y se determina el tiempo de exposición necesario para inactivar el 100 % al *E. coli*, obteniendo tiempos de 150.0, 69.5, 90.0 y 104.2 min para los Tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El Tratamiento 1 sin catalizador presenta mayor tiempo de inactivación, y los tratamientos con catalizador presenta menores tiempos de inactivación, pero el tratamiento 2 presenta mejores resultados de tiempo de exposición con 69.5 min para inactivar el 100% de *E. coli*, por lo que esta cinética es la mejor en el reactor fotocatalítico.

4.2.4. Determinación del pH

El pH fue registrado en cada tratamiento a los 0, 30 y 60 minutos respectivamente bajo condiciones no controladas, a continuación, se presentan los registros de pH con los diferentes tratamientos.

La figura 31 indica que los valores de pH, no cumplen con los datos establecidos por la Dirección General de Salud (DIGESA), durante las fechas de tratamiento estos valores se encuentran por encima, eso indica que no cumplen con los LMPs, teniendo en cuenta que los valores máximos para consumo humano son 6.5 – 8.5, en tal sentido estas aguas no son adecuados para tal uso. Por otro lado, estos datos obtenidos indican que el reactor fotocatalítico sin TiO_2 , no influye negativamente en el cambio de pH en el cuerpo de agua, ya que los valores obtenidos son diferentes.

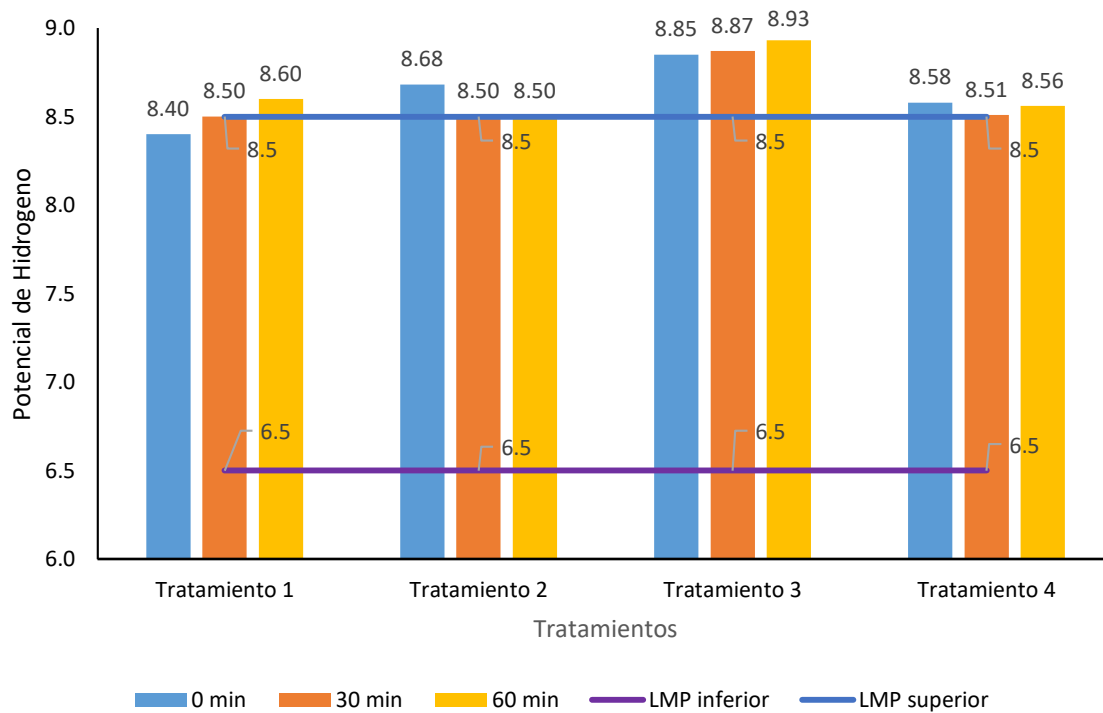


Figura 28. Comparación del valor del potencial de hidrógeno (pH) en diferentes tratamientos y su comparación con la norma vigente

Por otro lado, estos datos obtenidos indican que el reactor fotocatalítico sin TiO_2 , no influye negativamente en el cambio de pH en el cuerpo de agua, ya que los valores no varían significativamente. Haider et al. (2017) sostiene que el TiO_2 como catalizadores no interfieren en el Potencial de Hidrogeno.

4.3. Determinación de la eficiencia del reactor fotocatalítico con TiO_2 en la inactivación de *E. coli*

Al realizar los cálculos se determinó el porcentaje de remoción en cada tratamiento, encontrándose que el tratamiento 2 con TiO_2 como se muestra en la tabla 19, presenta el mayor porcentaje de remoción respecto a los demás.

Tabla 19.**Resultados finales de *Escherichia coli* y potencial de hidrogeno**

Concepto	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL) (44.5 °C).			Porcentaje de inactivación (%)
LMP	0	0	0	-
Hora toma de muestra	11:15 a.m.	11:45 a.m.	12:15 p.m.	-
Tratamiento 1 sin TiO ₂	11	11	10	9.1%
Tratamiento 2 con TiO ₂	14	10	3	78.6%
Tratamiento 3 con TiO ₂	2400	2100	1300	45.8%
Tratamiento 4 con TiO ₂	43	32	20	53.5%

Este resultado para tratamiento con TiO₂, difiere del resultado de Rojas-Higuera et al. (2010) pues ellos obtuvieron un 100% de inactivación de *E.coli* pero para agua de riego; también del resultado de Rosenberg et al., (2018), donde ellos obtuvieron un 97,87% de inactivación, cuando la dilución de TiO₂ es mayor. En cuanto a desinfección sin TiO₂ Tibaduiza Landinez y Tibaduiza Landinez (2014) obtuvieron un resultado de 97,67% con un tiempo de exposición de 10 horas.

Como se muestra en la tabla 19 ningún tratamiento cumple con el LMP del DS. 031-2010 SA, donde el valor para *E. Coli* es 0 UFC/100 mL.

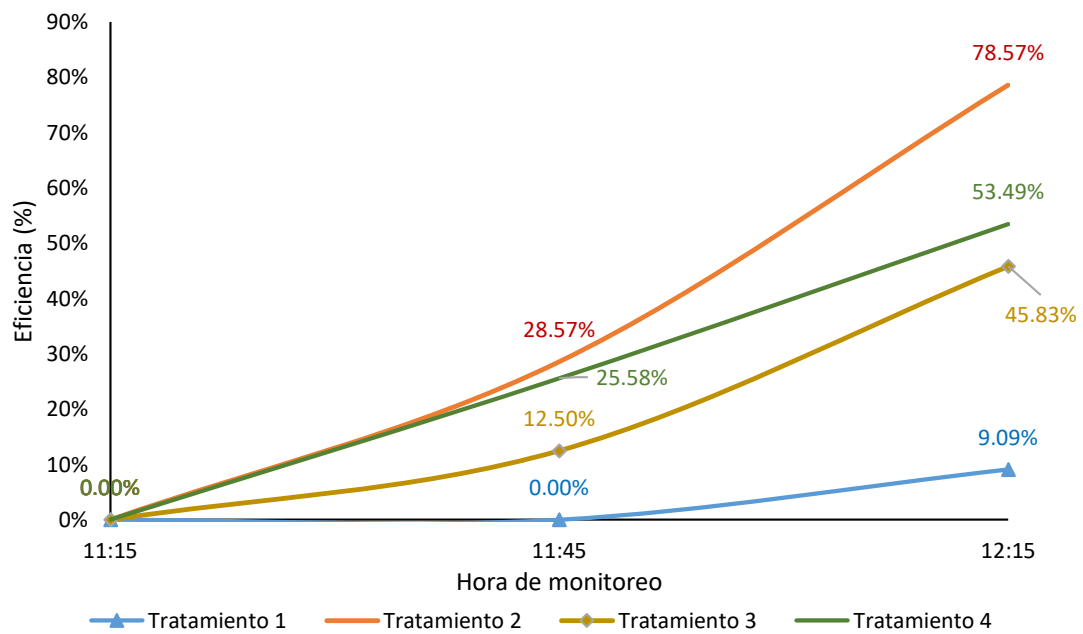


Figura 29. Eficiencia de los tratamientos

En la figura 32 se puede observar que el tratamiento 2 con TiO_2 es el que presenta mejor resultado de inactivación con 78.57 %, seguido del tratamiento 4 y 3, y el Tratamiento 1 sin catalizador presenta un porcentaje de inactivación de 9.09 % siendo este el de mejor eficiencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que el uso de TiO_2 como catalizador en la fotocatalisis incrementa la inactivación del *E. coli* en aguas subterránea para consumo humano
- El diseño y su construcción del reactor fotocatalítico con TiO_2 , es un método viable, económico y de fácil ensamblaje, con materiales existentes en el mercado local de alta durabilidad y que puede ser aplicado en condiciones alto andinas (3850 msnm) y con un alto porcentaje de inactivación de *E. coli*.
- Las aguas subterráneas muestreadas de la ciudad de Juliaca, presentaron gran cantidad de microorganismos (*Escherichia coli*), pues las cuatro muestras tomadas superaron los LMP establecidos antes y después de los tratamientos por la norma nacional vigente que es de 0 UFC/100 mL (44.5°C) y las cinéticas responden a una ecuación cuadrática y el tratamiento 2 modela un tiempo de remoción de 69.5 min de tiempos de exposición para la inactivación del 100 % de *E. coli*.
- Los resultados después de aplicar los tratamientos con TiO_2 como catalizador en el reactor, demostraron una remoción de *Escherichia coli*, superior a 45.83%, en comparación con el Tratamiento 1 sin TiO_2 (9.09%), siendo el tratamiento 2 con TiO_2 la que alcanzo una eficiencia de 78.57% de inactivación de *E. coli*

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda hacer investigaciones con reactores fotocatalíticos de mayor tamaño o construir reactores en serie con el objetivo de aumentar el tiempo de retención hidráulica y la exposición a la radiación solar.
- Se recomienda realizar estudios en épocas de menor radiación solar para ver el comportamiento del reactor fotocatalítico con TiO_2
- Para el diseño de estos reactores fotocatalíticos se recomienda implementar cubiertas en las uniones de las tuberías PVC tipo IPS y tuberías de vidrio para evitar roturas por dilatación en la tubería de vidrio.
- Se recomienda colocar protectores de plásticos a reactores fotocatalíticos expuestos a 3850 msnm para evitar roturas por efectos de granizadas.

REFERENCIAS

- Agüero Pittman, R. (2003). *Agua potable para poblaciones rurales. Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento.*
- Allaert Vandevenne, C., y Escolá Ribes, M. (2002). *Métodos de análisis microbiológicos de los alimentos.*
- Álvarez Alva, R. (2002). *Salud pública y medicina preventiva.*
- Aurazo de Zumaeta, M. (2004). Aspectos Biológicos de la Calidad Del Agua. En *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. . Manual I: Teoría tomo 1* (CEPIS, pp. 58-102).
<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/dos.pdf>
- Bai, F. W., Chen, L. J., Zhang, Z., Anderson, W. A., y Moo-Young, M. (2004). Continuous ethanol production and evaluation of yeast cell lysis and viability loss under very high gravity medium conditions. *Journal of Biotechnology*, 110(3), 287-293.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2004.01.017>
- Blanco Gálvez, J., Malato Rodríguez, S., Peral, J., Sánchez, B., y Cardona, A. I. (2004). Diseño de reactores para fotocatalisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones. *Eliminacion de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea.*
<https://bit.ly/3mNHaMK>
- BM (2021). *El saneamiento inadecuado y la falta de acceso a agua limpia afectan a millones de personas en todo el mundo.* <https://bit.ly/3g9OSzj>
- Braham, R. J., y Harris, A. T. (2009). Review of Major Design and Scale-up Considerations for Solar Photocatalytic Reactors. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(19), 8890-8905. <https://doi.org/10.1021/ie900859z>
- Cañarte Soledista, K. (2010). Radiación ultravioleta. Y su efecto en la salud. En *Ciencia UNEMI* (pp. 26-33). <https://doi.org/10.19052/sv.1520>
- Carrillo Zapata, E. M., y Lozano Caicedo, A. M. (2008). *Validación del Método de Detección de Coliformes Totales y Fecales en Agua Potable Utilizando Agar*

- Chromocult* [Pontificia Universidad Javariana]. <https://bit.ly/2RrzST2>
- Castro, C. A., Arámbula, A. L., Centeno, A., y Giraldo, S. A. (2009). Degradación Heliofotocatalítica de *Escherichia coli* en Sistemas tipo Desinfección SODIS, con Dióxido de Titanio Modificado. *Informacion Tecnologica*, 20(6), 29-36.
<https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4133it.08>
- Choquehuanca Huanca, A. (2014). Distritalización: una solución para el desarrollo de Juliaca. *Espacio y Desarrollo*, 164(26), 143-164.
- Corzo Lucioni, A. (2011). *Estudio cinético de la degradación fotocatalítica oxidativa de Rodamina B con ZnO y luz solar*. 77(4), 267-274. <https://bit.ly/2RDZYCF>
- Deza Martí, E., Osorio Anaya, A., y Manríque Fajardo, J. J. (2017). *Evaluación experimental de la degradación fotocatalítica del colorante Cibacron Navy H-2G empleando nanopartículas industriales de TiO₂*. 83(2), 160-173.
<https://bit.ly/3x5BkLo>
- DIRESA. (2019). *Informe de evaluación de implementación del POI 2019 cuarto trimestre*.
<https://bit.ly/3uOocYR>
- Energy Sunflower Renewable. (2019). *Calentador Solar de Agua ángulo de la instalación*.
<https://bit.ly/3acAZMV>
- Esparza, P., Borges, M. E., Díaz, L., Alvarez-Galván, M. C., y Fierro, J. L. G. (2010). Photodegradation of dye pollutants using new nanostructured titania supported on volcanic ashes. *Applied Catalysis A: General*, 388(1-2), 7-14.
<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.07.058>
- Fernández-Ibáñez, P. (2004). *Propiedades coloidales de partículas de TiO₂: Aplicación al tratamiento fotocatalítico solar de aguas* [Universidad de Almería].
<https://bit.ly/3gf2b1p>
- Florez Franco, R. O. (2015). Análisis del problema del agua potable y saneamiento: ciudad de Puno. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 16.
<https://doi.org/10.18271/ria.2014.28>

- Gamboa Gamboa, E. (2014). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un fotoreactor solar para la producción fotocatalítica de hidrógeno*. Universidad de Costa Rica.
- González H., A., Martín D., A., y Figueroa, R. (2010). Tecnologías de Tratamiento y Desinfección de Agua para uso y Consumo Humano. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, January 2000*, 1-17. <https://bit.ly/2QrxvPv>
- Guiovana Rincón, Á., Giraldo, S. A., y Pulgarín, C. (2004). Desinfección de agua por fotocátalisis. Aspectos básicos. En *Solar Safe Water* (pp. 203-226). <https://bit.ly/3gb0an2>
- Haider, A. J., Al-Anbari, R. H., Kadhim, G. R., y Salame, C. T. (2017). Exploring potential Environmental applications of TiO₂ Nanoparticles. *Energy Procedia*, 119, 332-345. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.117>
- Hench, L. L., y West, J. K. (1990). The sol-gel process. *Chemical Reviews*, 90(1), 33-72. <https://doi.org/10.1021/cr00099a003>
- Herrmann, J. M. (1999). Heterogeneous photocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis Today*, 53(1), 115-129. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(99\)00107-8](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(99)00107-8)
- Howard, G., y Bartram, J. (2003). Domestic water quantity, service level and health. *WHO/SDE/WSH/03.02*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67884>
- Huang, X., Leal, M., y Li, Q. (2008). Degradation of natural organic matter by TiO₂ photocatalytic oxidation and its effect on fouling of low-pressure membranes. *Water Research*, 42(4), 1142-1150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.030>
- INEI, (2017). *Perú: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Población censada más población omitida. Censo Nacional 2017: XII de Población , VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*.
- Lampoglia, T. C., Agüero P, R., y Barrios N., C. (2008). *Orientaciones sobre Agua y Saneamiento para Zonas Rurales*. <https://bit.ly/32bHJq9>

- Larreal-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N., y Heydrich-Pérez, M. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de calidad de las aguas. *CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
<https://bit.ly/3adVglc>
- López-Molina, J., y Eslava-Campos, C. A. (2015). *Escherichia coli* diarrogénica. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MINAGRI. (2015). Manual N° 5 Medición de agua. En *Ministerio de Agricultura y Riego: Vol. 2da Ed.* (Número Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego).
<https://bit.ly/3dZ46EM>
- MINAM. (2005). *Ley General del Ambiente - Ley N° 28611*. 168. <https://bit.ly/3gnnwWL>
- MINSA, (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA*. Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú. 45. <https://bit.ly/3g9PEwd>
- MINSA, (2015). Resolución Directoral N°160-2015.DIGESA.SA. Protocolo de procesamientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano. *Resolucion Directoral*, 23.
- Munn, C. B. . (2004). *Marine microbiology : ecology and applications*. Science/BIOS Scientific Publishers.
- Navarro García, S. (2015). *Descontaminación de agua mediante energía solar utilizando un fotocatalizador*. [Universidad de La Laguna]. <https://bit.ly/3uPbWYb>
- OMS. (2003). Índice Solar. En *Índice UV solar mundial : guía práctica. Recomendación conjunta de: Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no I*. <https://bit.ly/3gbcAeo>
- OMS. (2021). *OMS | Agua*. <https://www.who.int/topics/water/es/>
- OMS y UNICEF (2018). *Instrumento de mejora del agua, el saneamiento y la higiene en*

los establecimientos de salud "WASH FIT".

Oyama, T., Aoshima, A., Horikoshi, S., Hidaka, H., Zhao, J., y Serpone, N. (2004). Solar photocatalysis, photodegradation of a commercial detergent in aqueous TiO₂ dispersions under sunlight irradiation. *Solar Energy*, 77, 525-532.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.020>

Pérez Garay, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://bit.ly/3wVcbCZ>

Rodríguez-Chueca, J., Morales, M., Mosteo, R., Ormad, M. P., y Ovelleiro, J. L. (2013). Inactivation of *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* present in treated urban wastewater by coagulation-flocculation and photo-Fenton processes. *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*, 12(5), 864–871. <https://doi.org/10.1039/c3pp25352j>

Rojas-Higuera, N., Sánchez-Garibello, A., Matiz-Villamil, A., Salcedo-Reyes, J. C., Carrascal-Camacho, A. K., y Pedroza-rodríguez, A. M. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego. *Universitas Scientiarum*, 15(2), 139-149. <https://bit.ly/2PTHXQd>

Rosenberg, N., Flores, M., y Labas, M. (2018). Desarrollo de una metodología experimental para el estudio de la inactivación fotocatalítica de *Escherichia coli*. *XXVI JJI. Jornada de Jóvenes Investigadores AUGM*, 1.

https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13002/rosenberg-nadia-unl.pdf

Sánchez Martínez, D. V. (2017). Contaminantes biológicos en el agua y riesgo a la salud pública. *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 4(7 SE-Ensayos). <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2194>

Sarria, V. M., Parra, S., Rincón, Á. G., Pulgarín, C., y Torres, R. A. (2005). New

- electrochemical and photochemical systems for water and wastewater treatment. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 161-173. <https://bit.ly/2QsxAT5>
- SUNASS y JICA. (2004). La calidad del agua potable en el Perú. En *Sunnas*. <https://bit.ly/3dhGTyj>
- Tibaduiza Landinez, C., y Tibaduiza Landinez, L. (2014). *Depuración de aguas contaminadas por Escherichia coli y Salmonella mediante radiación solar* [Universidad Libre]. <https://bit.ly/3g6XlxO>
- Valencia, S. H., Marín, J. M., y Restrepo, G. M. (2011). Efecto del pH en la Degradación Fotocatalítica de Materia Orgánica Natural. *Informacion Tecnologica*, 22(5), 57-66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000500008>
- WHO, W. H. O. (2019). *A guide to equitable water safety planning: ensuring no one is left behind*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/311148>
- Zegarra Butrón, A. T. (2017). *Dispersión de contaminantes biológicos en las aguas subterráneas de la zona sur de la ciudad de Juliaca - 2017* [Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1358>

ANEXOS

ANEXO A. Hoja técnica de tubería IPS

Tecnología IPS FUSION

3.3 Polipropileno Copolímero Random o Tipo 3 - Propiedades (tablas)

Tabla de propiedades del Polipropileno Copolímero Random o Tipo 3

Características generales	Método de Ensayo	Unidad	Valor	
Densidad a 23°C	ISO 1183	g/cm ³	0,905	
MFI (230g/2, 16Kg)	ISO 1133	g/10min	<0,5	
Propiedades mecánicas				
Esfuerzo al límite convencional de elasticidad	ISO 527	MPa	24	
Alargamiento en el límite convencional de elasticidad	ISO 527	%	10	
Módulo de elasticidad	ISO 527	MPa	850	
Dureza por penetración a la bola 132/30"	ISO 2039/1	N/mm ²	43	
Dureza Shore D, valor 3 s	ISO 868		65	
Resistencia al impacto Charpy	23°C	ISO 179/1eU	KJ/m ²	No rompe
	0°C	ISO 179/1eU	KJ/m ²	No rompe
	-23°C	ISO 179/1eU	KJ/m ²	43
Propiedades térmicas				
Temperatura de fusión de las cristalitas	ISO 3146	°C	147	
Temperatura de reblandecimiento Vicat VST/A/50	ISO 306	°C	135	
Coefficiente de dilatación lineal entre 20 y 90°C	DIN 35752	K ⁻¹	1,1 · 10 ⁻⁴	
Conductividad térmica a 20°C	DIN 52612	W/mK	0,21	
Capacidad térmica específica a 20°C	Calorímetro adiabático	KJ/Kg · K	1,7	
Propiedades eléctricas				
Resistividad transversal	DIN 53482	Ohm/cm	>10 ¹⁶	
Resistencia dieléctrica superficial	DIN 53482	Ohm	>10 ¹³	
Rigidez dieléctrica	DIN 53481	kV/cm	550-900	
Resistencia al arco	DIN 53484	Clase	L4	

Tabla de propiedades de espuma termoplástica aislante

Características	Método de Ensayo	Unidad	Valor
Estructura de la celda			Cerrada
Densidad	ASTM D 1622	Kg/m ³	250
Conductividad térmica	DIN 52612	W/mK	0,035
Permeabilidad al agua	Dir.EUAtc		Impermeable
Absorción de agua	IRAM 1582	V/V	1,2%
Permeabilidad al vapor de agua	ASTM E-96	gr/m ² h	0,033
Aislamiento a ruidos de impacto	IRAM 4063	dB	19

Tabla de propiedades del tubo "MAXUM"

Características	Según valores	Unidad	Valor
Conductividad Térmica a 20°C	DIN 52612	W/mK	0,0634

16



Fuente: Dossier Técnico IPS

ANEXO B. Resultados Generales de los parámetros analizados.

Tipo de Tratamiento	Fecha	Hora	Porcentaje de reducción de EC%	Diferencia de Porcentajes de reducción de EC % en comparación al inicio	Numeración de Escherichia Coli - UFC/100 mL (44.5°C)	Potencial de Hidrogeno - pH	Radiación UV - Index
Fotocatálisis Homogénea	05/12/2019	11:15:00 a.m.	100.00	0.00	11	8.4	11
		11:45:00 a.m.	100.00	0.00	11	8.5	8
		12:15:00 p.m.	90.91	9.09	10	8.6	12
Fotocatálisis con TiO2 - 1	12/12/2019	11:15:00 a.m.	100.00	0.00	14	8.68	12
		11:45:00 a.m.	71.43	28.57	10	8.5	13
		12:15:00 p.m.	21.43	78.57	3	8.5	13
Fotocatálisis con TiO2 -2	16/12/2019	11:15:00 a.m.	100.00	0.00	2400	8.85	13
		11:45:00 a.m.	87.50	12.50	2100	8.87	13
		12:15:00 p.m.	54.17	45.83	1300	8.93	13
Fotocatálisis con TiO2 - 3	17/12/2019	11:15:00 a.m.	100.00	0.00	43	8.58	11
		11:45:00 a.m.	74.42	25.58	32	8.51	12
		12:15:00 p.m.	46.51	53.49	20	8.56	13

ANEXO C. Informes de los resultados químicos y microbiológicos de laboratorio antes y después del tratamiento



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B124-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
 Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
 Proyecto : *Tesis*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
 Punto de muestreo : *Pozo 3*
 Procedencia : *Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
 Fecha y hora de muestreo : *03 - Diciembre - 2019.*
 Ubicación UTM : *---*
 Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
 Tipo de muestra : *Puntual*
 Muestreado por : *Por el Cliente*
 Fecha de recepción : *03 - Diciembre - 2019.*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: Pozo 3
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	9

Donde:

< V&B: Límite de Detección del Método
 UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 04 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Dr. Herbert Pari Neira
 JEFE DE LABORATORIO
 CBP_8687

LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B121-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **---**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **S-1: Reactor**
Procedencia : **Chullunquiñani, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **28 - Noviembre - 2019 / 11:20 hrs.**
Ubicación UTM : **373388.66 / 8284520.43**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **28 - Noviembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: S-1 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	0
pH	Valor de pH	6.72

Donde:

< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 02 de Diciembre del 2019



Bigo. Hérbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9687



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B137-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
Proyecto : *"Reactor fotocatalítico"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
Punto de muestreo : *S-1: Reactor- Inicio*
Procedencia : *Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
Fecha y hora de muestreo : *05 - Diciembre - 2019 / 11:15 hrs.*
Ubicación UTM : *15°28 41'S / 70°09 35'W*
Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
Tipo de muestra : *Puntual*
Muestreado por : *Por el Cliente*
Fecha de recepción : *05 - Diciembre - 2019*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: S-1 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	11
pH	Valor de pH	8.4

Donde:

< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 07 de Diciembre del 2019


Elgo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9687



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B138-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **S-2: Reactor- Proceso**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **05 - Diciembre - 2019 / 11:45 hrs.**
Ubicación UTM : **15°28 41'S / 70°09 35'W**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **05 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: S-2 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	11
pH	Valor de pH	8.5

Donde:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 07 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Bigg. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP-8687

**LABORATORIOS B&C S.A.C.***"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"*

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B139-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
Proyecto : *"Reactor fotocatalítico"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
Punto de muestreo : *S-3: Reactor- Final*
Procedencia : *Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
Fecha y hora de muestreo : *05 - Diciembre - 2019 / 12:15 hrs.*
Ubicación UTM : *15°28 41"S / 70°09 35"W*
Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
Tipo de muestra : *Puntual*
Muestreado por : *Por el Cliente*
Fecha de recepción : *05 - Diciembre - 2019*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: S-3 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	10
pH	Valor de pH	8.6

*Donde:**< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.***MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH. Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 07 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Bigo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9687

**LABORATORIOS B&C S.A.C.***"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"*

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B145-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
Proyecto : *"Reactor fotocatalítico"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
Punto de muestreo : *C-1: Reactor- Inicio*
Procedencia : *Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
Fecha y hora de muestreo : *12- Diciembre - 2019 / 11:15 hrs.*
Ubicación UTM : *15°28 41"S / 70°09 35"W*
Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
Tipo de muestra : *Puntual*
Muestreado por : *Por el Cliente*
Fecha de recepción : *12 - Diciembre - 2019*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C-1 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44,5°C)	14
pH	Valor de pH	8.69

Donde:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21^{ra} ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 13 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP/9687



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B146-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C-2: Reactor- Proceso**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **12 - Diciembre - 2019 / 11:45 hrs.**
Ubicación UTM : **15°28 41'S / 70°09 35'W**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **12 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C-2 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	10
pH	Valor de pH	8.5

Donde:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH. Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 13 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Bigo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 8687

**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B147-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C-3: Reactor- Final**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **12 - Diciembre - 2019 / 12:15 hrs.**
Ubicación UTM : **15°28 41'S / 70°09 35'W**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **12 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C-3 Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	3
pH	Valor de pH	8.5

Donde:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no están consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 13 de Diciembre del 2019



Herbert Puri Neira
Blgo. Herbert Puri Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9987



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B153-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
Proyecto : *"Reactor fotocatalítico"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
Punto de muestreo : *C2-1R: Reactor- Inicio*
Procedencia : *Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
Fecha y hora de muestreo : *16- Diciembre - 2019 / 11:15 hrs.*
Ubicación UTM : *---*
Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
Tipo de muestra : *Puntual*
Muestreado por : *Por el Cliente*
Fecha de recepción : *16 - Diciembre - 2019*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C2-1R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	2,400
pH	Valor de pH	8.85

Donde:

< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Blgo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP.9887



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS
INFORME DE ENSAYO N° B154-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C2-2R: Reactor- Proceso**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **16- Diciembre - 2019 / 11:45 hrs.**
Ubicación UTM : **---**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **16 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C2-2R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	2,100
pH	Valor de pH	8.87

Donde:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuos APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Bigo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9667

**LABORATORIOS B&C S.A.C.***"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"*

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B155-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C2-3R: Reactor- Final**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **16- Diciembre - 2019 / 12:15 hrs.**
Ubicación UTM : **---**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **16 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C2-3R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	1,300
pH	Valor de pH	8.93

Donde:

< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Blgo. Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9687

**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B157-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : *Salida Arequipa Km. 6*
Proyecto : *"Reactor fotocatalítico"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Subterránea*
Punto de muestreo : *C3-1R: Reactor - Inicio*
Procedencia : *Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno*
Fecha y hora de muestreo : *17 - Diciembre - 2019 / 11:15 hrs.*
Ubicación UTM : *---*
Presentación : *200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.*
Tipo de muestra : *Puntual*
Muestreado por : *Por el Cliente*
Fecha de recepción : *17 - Diciembre - 2019*

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C3-1R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	43
pH	Valor de pH	8.51

Dados:

< Valor Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



[Firma]
Blgo. Herjert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9887

**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos*

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B158-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C3-2R: Reactor - Proceso**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **17 - Diciembre - 2019 / 11:45 hrs.**
Ubicación UTM : **---**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **17 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C3-2R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	32
pH	Valor de pH	8.58

Donde:

* Valor: Lista de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonias.**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 2ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



Blgo. **Herbert Pari Neira**
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9687

**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° B159-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **DAVID WILLY ALVAREZ RIVAS**
Dirección : **Salida Arequipa Km. 6**
Proyecto : **"Reactor fotocatalítico"**

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : **Agua Subterránea**
Punto de muestreo : **C3-3R: Reactor - Final**
Procedencia : **Chullunquiari, Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno**
Fecha y hora de muestreo : **17 - Diciembre - 2019 / 12:15 hrs.**
Ubicación UTM : **—**
Presentación : **200 mL aproximadamente, en envase de borosilicato estéril.**
Tipo de muestra : **Puntual**
Muestreado por : **Por el Cliente**
Fecha de recepción : **17 - Diciembre - 2019**

III. Resultados Parámetros Microbiológicos y Fisicoquímicos.

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N° 01: C3-3R Reactor
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL (44.5°C)	20
pH	Valor de pH	8.56

Nota:

< Valor: Límite de Detección del Método
UFC : Unidades Formadoras de Colonia.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Numeración de *Escherichia coli*: Método Filtro de membrana. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA. AWW. WEF. Part. 9221 D. 21ª ed. 2005
- pH: Potenciométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 19 de Diciembre del 2019



Herbert Pari Neira
Herbert Pari Neira
JEFE DE LABORATORIO
CBP-9687

ANEXO D. Cadenas de custodia



CADENA DE CUSTODIA

Código :	
Revisión :	
Página :	1 de 1

Solicitante : DAVYD ALVAREZ RIVAS
Dirección : SALIDA AEROPUERTO W106
R.U.C. : 70100976
Contacto : DIRECTOR FOTOCATALITICA

Teléfono / Fax : 912779212
E-mail : simon.alvarez@bc.com

Cod. Lab.	Cod. de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Matriz *	Puntos de Muestreo	Com., C.P., Localidad, Urb.	Distrito	Provincia	Departamento	U.T.M.		Nº de frascos		Vol. Total aprox. (ml)
										Este	Norte	P	V	
	S-1	05/12/19	11:15h	AT	REACTOR FOTOCATALITICO								1	200ml
	S-2	05/12/19	11:41h	AT	REACTOR FOTOCATALITICO								1	200ml
	S-3	05/12/19	12:00h	AT	REACTOR FOTOCATALITICO								1	200ml
Total													3	

* AP(Agua Potable); AR(Agua Residual); AS(Agua Superficial); AT(Agua Subterránea); AL(Agua Pluvial); EF(Efuente); VE(Ventimiento); SE(Sedimental); BV(Banco Viajero); DP(Duplicado); BC(Blanco de Campo); BF(Blanco de Frasco); LD(Lodos); SU(Suelos)

Responsable del muestreo: <i>Davyd Alvarez</i> Firma	Observaciones:	Tipo de recipiente para el transporte: <i>Cooler</i> Temperatura durante el transporte: <i>-</i> Muestras dentro del periodo de análisis: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Muestras entregadas Intactas: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Entregado a: <i>HERBERT DAVID RIVERA</i> Recibido por: <i>HERBERT DAVID RIVERA</i> Fecha y hora: <i>01/12/19</i> Firma:
---	----------------	--	--



LABORATORIOS B&C S.A.C.
Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos
OFICINA: J. Lina Nº165, Cte. 312- Andac. Tel.: /95149223 / 951881210
E-mail: bclaboratorios@gmail.com

CADENA DE CUSTODIA

Código :	
Revisión :	
Página :	1 de 1

Solicitante : DAVID ALVAIREZ RIVAS
Dirección : SALIDA ADECUADA KA OV.
R.U.C. : 76100746
Contacto : REACCION FOTOMETRICA

Teléfono / Fax : 917999772
E-mail : davidalvarezrivas@gmail.com

Cod. Lab.	Cod. de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Matriz *	Puntos de Muestreo	Com., C.P., Localidad, Urb.	Distrito	Provincia	Departamento	U.T.M.		Nº de frascos		Vol. Total aprox. (ml)
										Este	Norte	P	V	
	C-1	12/12/19	11:50	AT	DESCUEN POTOMETRICA	ESMERALDAS	SAN RAFAEL	JULIACA	PUNO				1	200ml
	C-2	13/12/19	11:45	AT	DESCUEN POTOMETRICA	ESMERALDAS	SAN RAFAEL	JULIACA	PUNO				1	200ml
	C-3	17/12/19	12:15	AT	DESCUEN POTOMETRICA	ESMERALDAS	SAN RAFAEL	JULIACA	PUNO				1	200ml
Total														3

* AP(Agua Potable); AR(Agua Residual); AS(Agua Superficial); AT(Agua Subterránea); AL(Agua Pluvial); EF(Efluente); VE(Vertimiento); SE(Sedimental); BV(Banco Viajero); DP(Duplicado); BC(Blanco de Campo); BF(Blanco de Frasco); LD(Lodos); SU(Suelos)

Responsable del muestreo : <i>David Alvarez Rivas</i>	Observaciones:	Tipo de recipiente para el transporte: <i>Cooler</i>	Entregado a: <i>HERIBERT PARI NEREA</i>
<i>[Firma]</i>		Temperatura durante el transporte: <i>-</i>	Recibido por: <i>HERIBERT PARI NEREA</i>
		Muestras dentro del periodo de análisis: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Fecha y hora: <i>12/12/19</i>
	Muestras entregadas intactas: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Firma	



LABORATORIOS B&C S.A.C.
 "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"
 Oficinas: Av. Lima Nº163, Ofic. 312, Jirón. Tel: /51(0)11 9270 / 951891210
 E-mail: brc@laboratoriosbrc.com

CADENA DE CUSTODIA

Código :	
Revisión :	
Página :	1 de 1

Solicitante : *DAVID ALVAREZ BOLAÑOS*
 Dirección : *SALIDA ANDEWIPÁ KNO 06*
 R.U.C. : *731007416*
 Contacto : *Reactor Fotocatalítico*

Teléfono / Fax : *912274212 1*

E-mail : *dauid.alvarez@brc.com*

Cod. Lab.	Cod. de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Matriz *	Puntos de Muestreo	Com., C.P., Localidad, Urb.	Distrito	Provincia	Departamento	U.T.M.		Nº de frascos		Vol. Total aprox. (ml)
										Este	Norte	P	V	
	<i>CS-1R</i>	<i>12/12/19</i>	<i>11:12</i>	<i>AT</i>	<i>Reactor Inactivo</i>							<i>1</i>	<i>200ml</i>	
	<i>CS-2R</i>	<i>12/12/19</i>	<i>11:41</i>	<i>AT</i>	<i>Reactor Inactivo</i>							<i>1</i>	<i>200ml</i>	
	<i>CS-3R</i>	<i>12/12/19</i>	<i>12:15</i>	<i>AT</i>	<i>Reactor Filtro</i>							<i>1</i>	<i>200ml</i>	
Total													<i>3</i>	

*AP(Agua Potable); AR(Agua Residual); AS(Agua Superficial); AT(Agua Subterránea); AL(Agua Pluvial); EF(Efluente); VE(Vertimiento); SE(Sedimental); BV(Banco Viejero); DP(Duplicado); BC(Blanco de Campo); BF(Blanco de Frasco); LD(Lodos); SU(Suelos)

Responsable del muestreo : <i>David Alvarez Bolaños</i>	Observaciones:	Tipo de recipiente para el transporte:	Cooler	Entregado a: <i>HERBERT RAMIREZ</i>
Firma: <i>[Firma]</i>		Temperatura durante el transporte:	-	Recibido por: <i>HERBERT RAMIREZ</i>
		Muestras dentro del periodo de análisis:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Fecha y hora: <i>12/12/19</i>
		Muestras entregadas intactas:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Firma:



LABORATORIOS B&C S.A.C.
 "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"
 OFICINA: Jr. Lima 1º165, Ofic. 312- Lince. Telf.: 95149223/951891214.
 E-mail: laboratorio@bnc.com.pe

CADENA DE CUSTODIA

Código :	
Revisión :	
Página :	1 de 1

Solicitante : **DAVID ALVAREZ BUNO**
 Dirección : **SANJA ANAQUIPA KM 06.**
 R.U.C. : **71100796**
 Contacto : **RESIDUO PETROCATALITICO**

Teléfono / Fax : **912774212**
 E-mail : **analalvarezbuno@gmail.com**

Cod. Lab.	Cod. de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Matriz *	Puntos de Muestreo	Com., C.P., Localidad, Urb.	Distrito	Provincia	Departamento	U.T.N.		Nº de frascos		Vol. Total aprox. (ml)
										Este	Norte	P	V	
	C2-1R	16/12/19	11:30am	AT	Punto Inicial							1	200ml	
	C2-2R	16/12/19	11:30am	AT	Punto Intermedio							1	200ml	
	C3-3R	16/12/19	12:15pm	AT	Punto Final							1	200ml	
Total												3		

* AP(Agua Potable); AR(Agua Residual); AS(Agua Superficial); AT(Agua Subterránea); AL(Agua Pluvial); EF(Efluente); VE(Vertimiento); SE(Sedimental); BV(Banco Viajero); DP(Duplicado); BC(Blanco de Campo); BF(Blanco de Frasco); LD(Lodos); SU(Suelos)

Responsable del muestreo <i>David Alvarez Buno</i>	Observaciones:	Tipo de recipiente para el transporte: Cooler	Entregado a: <i>Hohert Per Narzo</i>
Firma		Temperatura durante el transporte: -	Recibido por: <i>Hohert Per Narzo</i>
		Muestras dentro del periodo de análisis: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Fecha y hora: <i>16/12/2019</i>
		Muestras entregadas intactas: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Firma

ANEXO E. Resultados de la Índices de Radiación Solar y UV

Tipo de Tratamiento	Fecha	Hora	Radiación UV- INDEX	Índice de Radiación Solar
		11:15 am	11	1002 W/m ²
Tratamiento 1	05/12/2019	11:45 am	8	632 W/m ²
		12:15 pm	12	1075 W/m ²
		11:15 am	12	1183 W/m ²
Tratamiento 2	12/12/2019	11:45 am	13	1271 W/m ²
		12:15 pm	13	1252 W/m ²
		11:15 am	13	1267 W/m ²
Tratamiento 3	16/12/2019	11:45 am	13	1285 W/m ²
		12:15 pm	13	1292 W/m ²
Tratamiento 4	17/12/2019	11:15 am	11	1123 W/m ²
		11:45 am	12	1206 W/m ²
		12:15 pm	13	1301 W/m ²

* Tratamiento 1: Sin Dióxido de Titanio (TiO₂), Tratamiento 2: Con Dióxido de Titanio (TiO₂), Tratamiento 3: Con Dióxido de Titanio (TiO₂) y Tratamiento 4: Con Dióxido de Titanio (TiO₂)

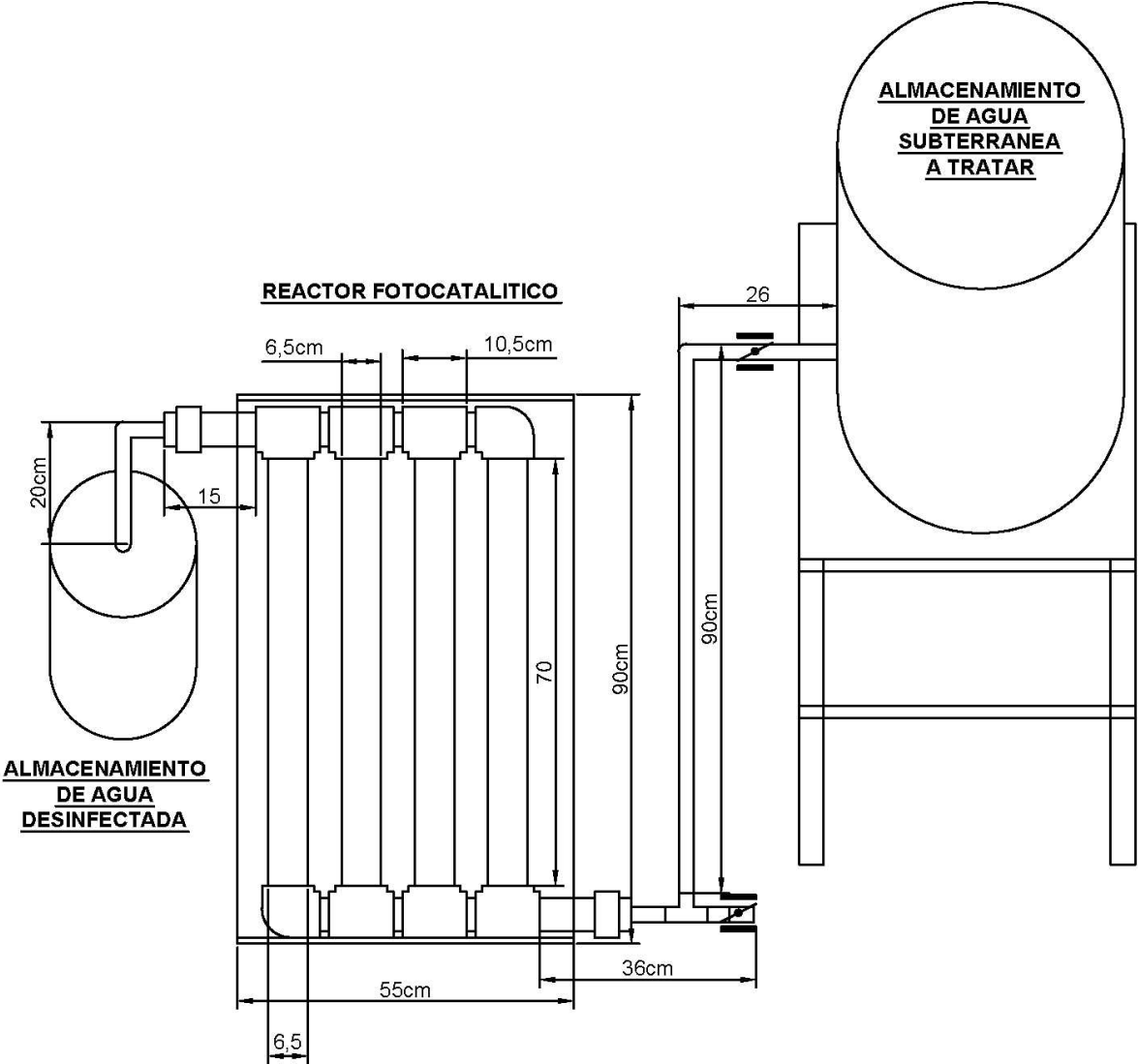
ANEXO F. Datos empíricos del caudal del reactor fotocatalítico

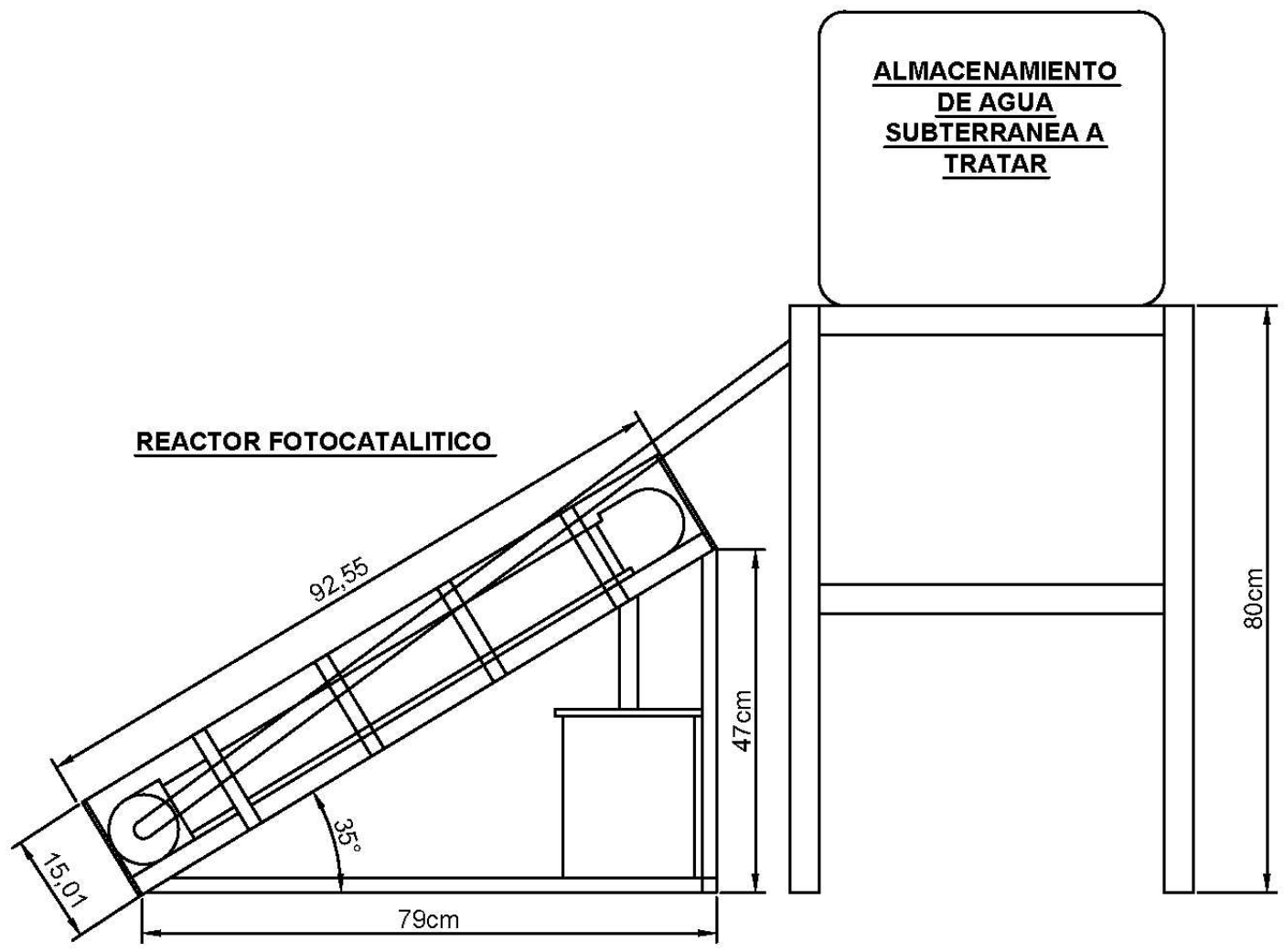
REPETICION DE AFORO	TIEMPO DE AFORO (min)	RESULTADO (mL/min)	PROMEDIO (mL/min)	CAUDAL EMPIRICO (L/hora)
Primero		0.161		
Segunda	1	0.155	0.155	9.30
Tercera		0.149		

ANEXO G. Datos de la capacidad de almacenamiento del reactor fotocatalítico

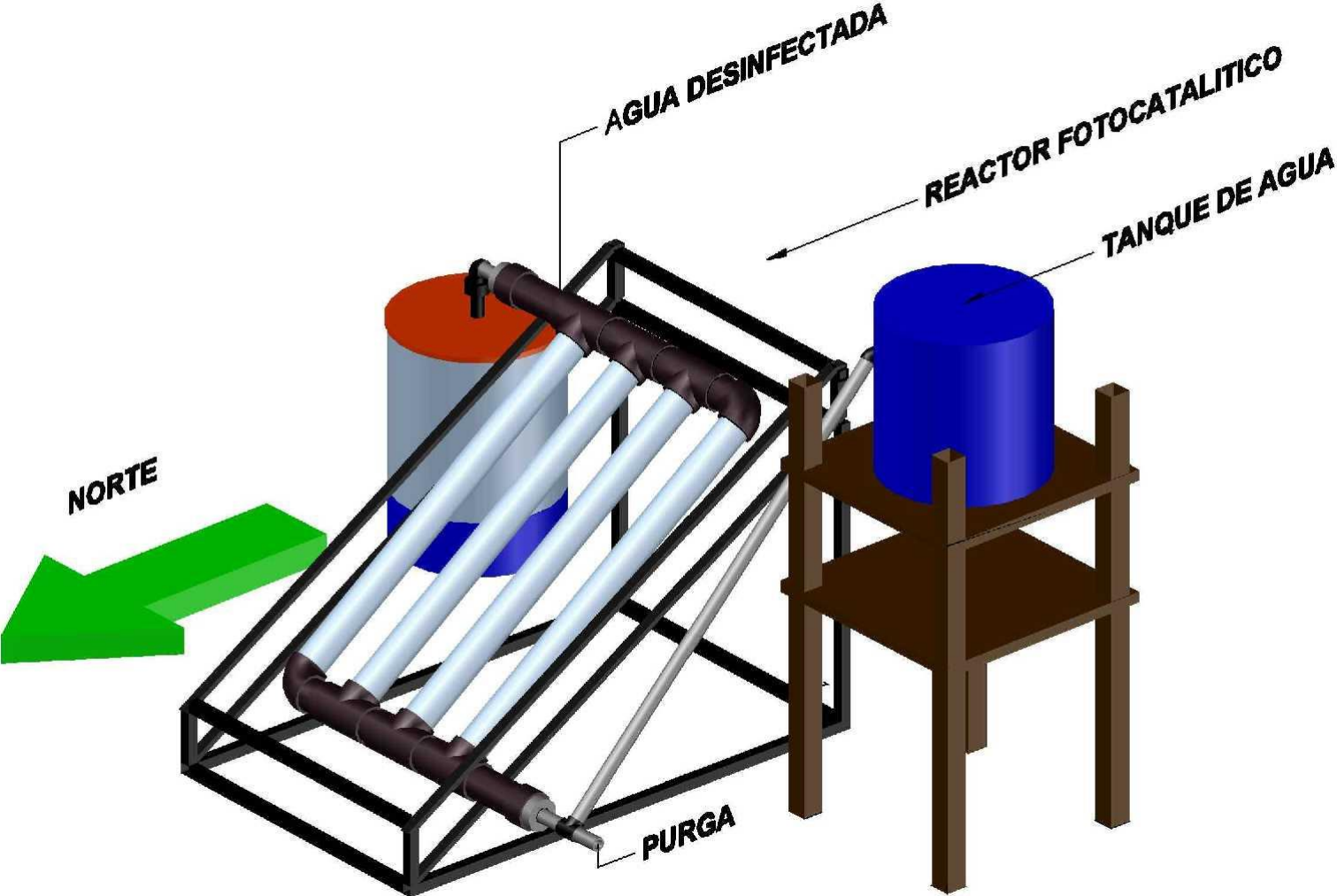
Sujetador de secciones de tubo IPS	Cantidad	Altura (cm)	Radio (cm)	Volumen (cm ³)	Volumen en Litros (L)	Volumen total en Litros (L)	Volumen total del Reactor (L)
	1	70	2.9	1848.518	1.848		
Tubos de vidrio	2	70	2.9	1848.518	1.848	7.394	
Tipo Pyrex	3	70	2.9	1848.518	1.848		
	4	70	2.9	1848.518	1.848		11.572
Sujetador de sección de Tubos IPS	1	63	3.25	2089.473	2.089	4.178	
	2	63	3.25	2089.473	2.089		

ANEXO H. Planos del diseño del Reactor Fotocatalítico





ANEXO I. Vista en 3D del reactor Fotocatalitico construido



ANEXO J. Ficha técnica del Dióxido de Titanio (TiO₂).

	FICHA TÉCNICA DIOXIDO DE TITANIO	Página 1 de 3
		Fecha Actualización: Abril 16 de 2017

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Ítem	Especificación
Nombre Químico	Dióxido de Titanio
Sinónimo	Titanio bióxido. Blanco de titanio.
Formula Molecular	TiO ₂
CAS	13463-67-7

2. DESCRIPCIÓN

Dióxido de Titanio tipo anatasa tratado superficialmente con Aluminio. Cumple con las regulaciones USDA-FDA 21CFR 73.575 (Productos alimenticios); 73.1575 (Productos farmacéuticos); 73.8575 (Para productos cosméticos). Farmacopea Estadounidense XXIV. El producto es de muy fácil dispersión y su elevado poder cubriente lo hace muy económico para la aplicación.

El dióxido de titanio tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad. El dióxido de titanio es el pigmento inorgánico más importante en términos de producción mundial. Es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV. El dióxido de titanio es anfotérico, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos. Se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidrofúrico.

3. DOSIS

Según el producto a elaborar y su formulación.

4. COMPOSICIÓN

Dióxido de Titanio

5. ESPECIFICACIONES FISICO-QUIMICAS

Propiedades	Especificaciones
Apariencia	Polvo
Color	Blanco
Olor	Inoloro
TiO ₂	98.5 min
Perdida en secado	0.5 Max
Pérdida por ignición	0.5 Max
Materia soluble en agua	0.25 Max
Materia Soluble en HCL	0.5 Max
Arsénico	3 Max
Metales pesados	5 Max

	FICHA TÉCNICA DIOXIDO DE TITANIO	Página 2 de 3
		Fecha Actualización: Abril 16 de 2017

6. PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Propiedades	Especificaciones
Recuento aeróbico total	100 CFU/g máx.
Levaduras	100 CFU/g máx.
Hongos	100 CFU/g máx.
Staphylococcus Aureus	Negativo
Bacteria Gram negativa	Negativo
Nota: El producto cumple con los estándares FCC 8 y USP 38.	

7. APLICACIONES

Sus aplicaciones abarcan todas las industrias como podemos ver en los siguientes ejemplos: se utiliza universalmente en la industria de las pinturas y recubrimientos, ha sustituido a cualquier otro pigmento blanco en el mercado.

En el sector de la impresión, hoy en día se opera con espesores de recubrimientos de menos de 100 milímetros, por lo que se requieren pigmentos de dióxido de titanio muy finos. También es usado para dar color a artículos de plástico como juguetes, electrónicos, automóviles, muebles, empaque, etcétera. El pigmento de dióxido de titanio absorbe parte de la radiación UV protegiendo a su contenido.

Otra de las aplicaciones está en las fibras sintéticas, eliminando la apariencia grasosa causada por las propiedades translúcidas de la resina. Los pigmentos de anatasa son preferidos en esta aplicación.

Para la industria del papel se utilizan fillers como el caolín, tiza o talco. Los pigmentos de dióxido de titanio se utilizan para el papel muy blanco que también debe ser opaco cuando es muy delgado. Además, se aplica como recubrimiento para hacer papel "artístico".

Es un pigmento utilizado como colorante para productos alimentarios, farmacéuticos, cosméticos, etc.

Los pigmentos de dióxido de titanio también se utilizan como absorbentes de rayos UV en productos para el bronceado, jabones, polvos cosméticos, cremas, pasta de dientes, papel de cigarro, alimentos y en la industria cosmética.

8. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y PRECAUCIONES

Se recomienda guardar en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco, alejado de la luz, el calor y la humedad.

	FICHA TÉCNICA DIOXIDO DE TITANIO	Página 3 de 3
		Fecha Actualización: Abril 16 de 2017

9. SEGURIDAD Y MANEJO

Hoja de seguridad disponible según requerimiento

10. EMBALAJE

Saco por 25 Kg.

11. VIDA UTIL

Por recomendación se consideran 60 meses o más de vida útil cuando se almacena en las condiciones antes mencionadas.

12. PAIS DE ORIGEN

China.

13. INFORMACIÓN ADICIONAL

Los datos proporcionados en esta hoja, son tomados de la ficha original suministrada por nuestro proveedor, este documento debe utilizarse solo como guía para la manipulación del producto con la precaución adecuada, DISTRIBUIDOR DE PRODUCTOS QUIMICOS SESAN SAS no asume responsabilidad alguna por reclamos, pérdidas o daños que resulten del uso inapropiado de la mercancía y/o de un uso distinto para el que fue concebida. El usuario debe hacer sus propias investigaciones para determinar la aplicabilidad de la información consignada en la presente hoja según sus propósitos particulares.

ANEXO K. Panel Fotográfico.



Figura 1. Diseño Inicial del reactor fotocatalítico.



Figura 2. Ensamblaje del reactor fotocatalítico.



Figura 3. Diseño final del reactor sin varillas de dióxido de Titanio (TiO_2)

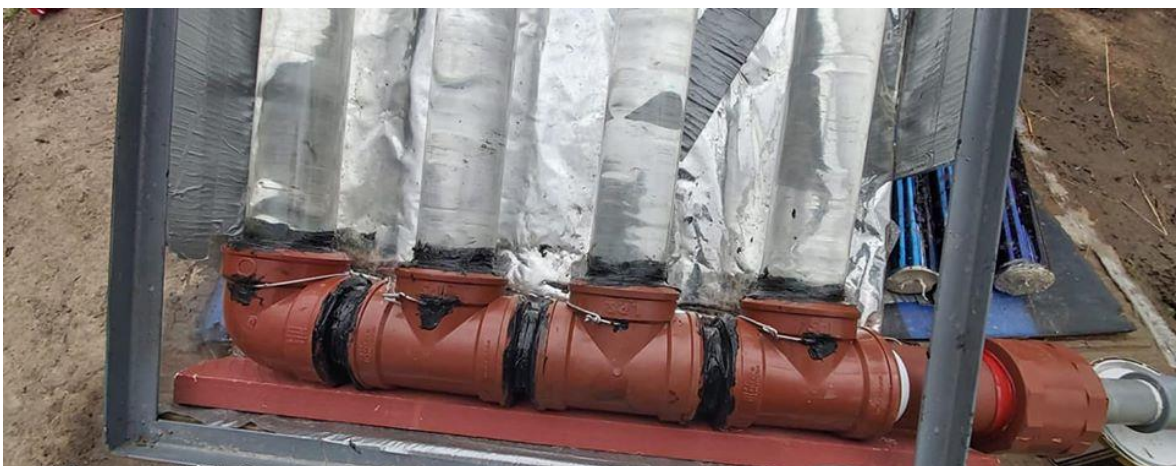


Figura 4. Unión de tubería Tipo IPS en sección parte inferior para poder sujetar los tubos de vidrio tipo Pyrex.



Figura 5. Unión de tubería Tipo IPS en sección parte superior para poder sujetar los tubos de vidrio tipo Pírex



Figura 6. Pozo de agua consumo humano con presencia de *Escherichia Coli*



Figura 7. Pintura epóxica



Figura 8. Varilla de madera Fijado con Dióxido de Titanio (TiO₂)



Figura 9. Varilla de madera encapsula con Pintura Epóxica y fijada con TiO_2 en contacto con el agua a tratar.

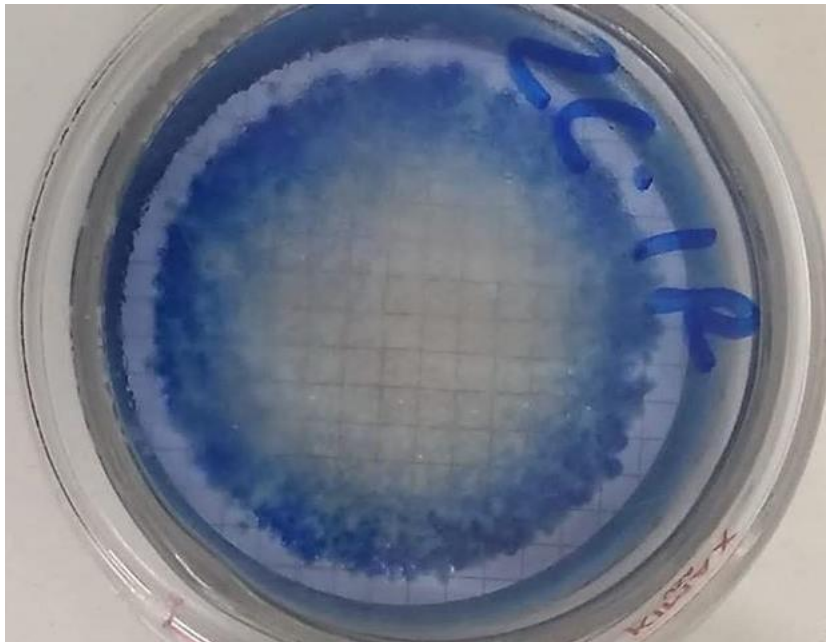


Figura 10. Resultado inicial de presencia de *Escherichia Coli* en el agua subterránea

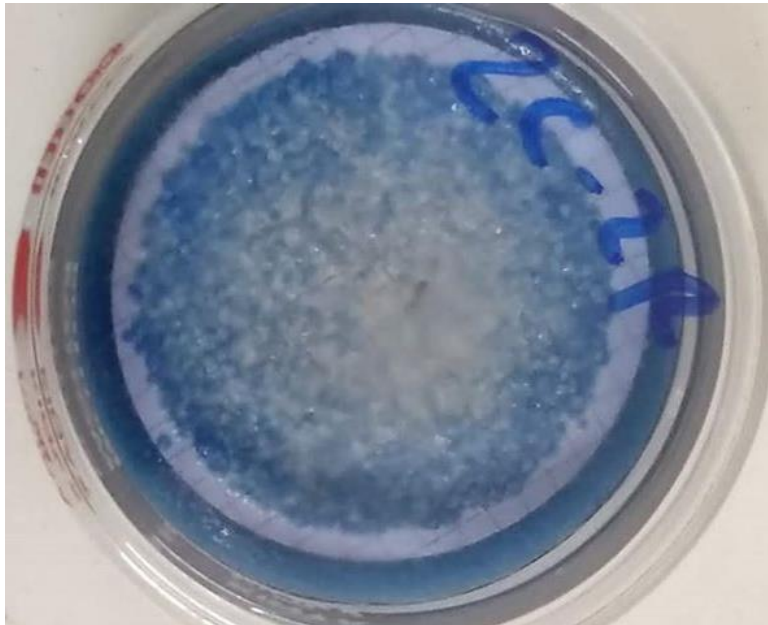


Figura 11. Resultado de presencia de *Escherichia Coli* en el agua después de treinta minutos en el reactor.

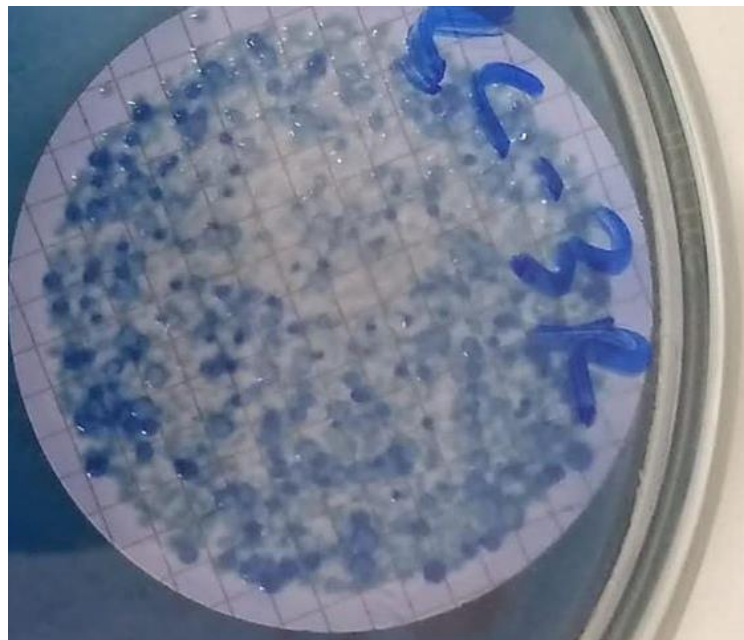


Figura 12. Resultado de presencia de *Escherichia Coli* en el agua después de una hora en el reactor.



Figura 13. Muestras de agua después del proceso de fotocatalisis en el reactor.



Figura 14. Transporte de Muestras en Cooler con bolsas de hielo.