



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN  
RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**“PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE  
LA FOTOCATÁLISIS CON ÓXIDO DE TITANIO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERO EN RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR:**

John Jairo Pozo Mier

**DIRECTOR:**

Ing. Jorge granja

**Ibarra – Ecuador**

2020

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA  
FOTOCATÁLISIS CON ÓXIDO DE TITANIO”

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito  
parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

**Ing. Jorge Granja**  
DIRECTOR

  
-----  
FIRMA

**Ing. Pedro Barba, MSc.**  
ASESOR

  
-----  
FIRMA

**Ing. Santiago Cabrera, MSc.**  
ASESOR

  
-----  
FIRMA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401584081		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pozo Mier John Jairo		
DIRECCIÓN:	Juan Montalvo y Obispo Mosquera		
EMAIL:	John04octubre@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2610998	TELÉFONO MÓVIL:	0960744662


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA FOTOCATÁLISIS CON ÓXIDO DE TITANIO"
AUTOR (ES):	John Jairo Pozo Mier
FECHA: DD/MM/AAAA	26/11/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing Jorge Granja

**2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de noviembre de 2020

**EL AUTOR:**

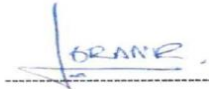
Firma:   
Nombre: John Jairo Pozo Mier

### **CERTIFICACIÓN**

Ing. Jorge Granja, director de tesis del Trabajo de Titulación desarrollado por el señor estudiante Pozo Mier John Jairo.

### **CERTIFICA**

Que el Proyecto de Tesis de grado titulado "**PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA FOTOCATÁLISIS CON ÓXIDO DE TITANIO**", ha sido realizado en su totalidad por el señor Pozo Mier John Jairo bajo mi dirección; para la obtención del título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. GRANJA', is written over a horizontal dashed line.

Ing. Jorge Granja

**Director del Trabajo de Titulación**

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi agradecimiento está dirigido con amor a las personas que hicieron todo en la vida para que alcanzara este objetivo. Principalmente, a mi madre Fanny Mier por su cariño y apoyo incondicional que me dio fuerza para seguir adelante sin recaer, de igual manera a mi padre Manuel Pozo por su comprensión y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. A mi hermana por su confianza, apoyo y consejos. A mi hijo por que él ha sido mi motor para poder llegar a vencer toda adversidad.*

*Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y en especial a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, que influyeron en mi formación profesional, al comité asesor; Ing. Jorge Granja, Ing. Pedro Barba, MSc, Ing. Santiago Cabrera, MSc por el apoyo a lo largo del proceso investigativo realizado en el presente documento.*

*John Pozo M*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, mis Padres, hermana y mi hijo, por su amor, apoyo y permanecer a mi lado en cada paso, a los buenos amigos y docentes de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, por mi formación académica y su aporte para el desarrollo del presente trabajo.

*John Pozo*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 Revisión de antecedentes .....	14
1.2 Problema de investigación y justificación .....	17
1.3 Objetivos .....	18
1.3.1 Objetivo general .....	18
1.3.2 Objetivos específicos .....	18
1.4 Hipótesis.....	18
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>19</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1. Marco teórico .....	19
2.1.1. Desinfección de aguas residuales .....	20
2.1.1.1 Mecanismos de desinfección.....	20
2.1.1.3 Oxidación Avanzada.....	21
2.1.1.4 Radiación Solar y aplicación en la fotocatalisis .....	21
2.1.2 Fotocatalisis.....	22
2.1.2.1 Fotocatalisis heterogénea .....	23
2.1.2.2 Longitud de onda o intensidad de la luz.....	25
2.1.3 Microorganismos indicadores de la calidad de agua .....	27
2.1.3.1 Coliformes totales.....	27
2.1.3.3 Coliformes fecales .....	28
2.1.3.4 Escherichia Coli.....	29
2.1.4 Métodos de ensayo microbiológico .....	30
2.1.4.1 Pruebas Cualitativas de Microorganismos .....	30
2.1.4.2 Pruebas Cuantitativas de Microorganismos .....	31
2.1.4.3 Métodos normalizados .....	31
2.1.4.4 Métodos desarrollados por el laboratorio.....	32
2.1.3.5 Métodos normalizados con modificaciones .....	32
2.2 Marco legal .....	32

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador .....	32
2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA) .....	33
2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	34
2.2.4 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (TULSMA). .....	34
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>36</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>36</b>
3.1 Descripción del área de estudio .....	36
3.2 Materiales y equipos .....	37
3.3 Métodos.....	38
3.3.1 Caracterización del agua residual antes de la desinfección.....	39
3.3.1.1 Fuente de captación .....	39
3.3.2 Caracterización física y química de la arcilla.....	41
3.3.2.1 Toma de muestras de arcilla .....	42
3.3.3 Análisis químicos y físicos – mecánicos de las muestras .....	42
3.3.3.1 Ensayos químicos .....	42
3.3.3.2 Evaluar la desinfección del agua tratada.....	43
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>47</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
4.1 Caracterización el agua residual antes de la desinfección .....	47
4.1.2 Etapa de construcción .....	47
4.1.2.1 Cochas de desinfección .....	47
4.1.2 Análisis físico del agua residual .....	48
4.1.3 Caudal .....	48
4.1.3 Análisis Químico del Agua Residual.....	49
4.1.4 Análisis microbiológicos.....	49
4.2 Caracterizar física y químicamente la arcilla .....	51
4.2.1 Toma de muestras .....	51
4.3. Evaluación de la desinfección del agua tratada.....	52
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>



5.1 Conclusiones .....	58
5.2. Recomendaciones .....	59
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS .....	66
Anexo 1: Reportes de análisis .....	66
Anexo 1.1: Muestra 1 .....	66
Anexo 1.2: Muestra 2 .....	67
Anexo 2: Registro fotográfico.....	68
Anexo 2.1: Fase de campo .....	68
Anexo 2.2: Fase de laboratorio .....	69
Anexo 2.3: Caja de máquinas y fosas de captación de agua residual .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de Coliformes Totales y E. coli .....	29
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de Validación por tipo de prueba microbiológica .....	31
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas de zona de estudio .....	36
<b>Tabla 4.</b> Listado de materiales .....	38
<b>Tabla 5.</b> Equipos campo, escritorio y laboratorio .....	38
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de agua residual.....	39
<b>Tabla 7.</b> Preparación de los envases para la toma de muestra.....	39
<b>Tabla 8.</b> Pasos para toma de muestras.....	40
<b>Tabla 9.</b> Análisis de muestras tomadas en campo .....	40
<b>Tabla 10.</b> Óxidos analizados en las muestras de arcillas .....	43
<b>Tabla 11.</b> Parámetros de medición.....	44
<b>Tabla 12.</b> Número de muestreo.....	45
<b>Tabla 13.</b> Volúmenes de excavación de la construcción para el proceso de desinfección de agua residual .....	48
<b>Tabla 14.</b> Análisis químico de las aguas residuales .....	49
<b>Tabla 15.</b> Análisis microbiológicos del agua residual .....	50
<b>Tabla 16.</b> Media de radiación solar .....	53
<b>Tabla 17.</b> Resultado de conteo de coliformes totales y fecales y media de radiación solar.....	54
<b>Tabla 18.</b> Datos paramétricos y no paramétricos.....	55
<b>Tabla 19.</b> Prueba de normalidad .....	55
<b>Tabla 20.</b> Análisis de homogeneidad de varianza.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación esquemática de una partícula de semiconductor excitada con radiación ultravioleta .....	23
<b>Figura 2.</b> Escherichia coli en Agar EMB .....	30
<b>Figura 3.</b> Ubicación del área de estudio .....	37
<b>Figura 4.</b> Siembra de muestra.....	46
<b>Figura 5.</b> Caja de máquinas y fosas de captación de agua residual .....	47
<b>Figura 6.</b> Fosas de Recepción de aguas residuales y Tubos de descarga.....	47
<b>Figura 7.</b> Muestras de arcillas.....	51
<b>Figura 8.</b> Cepas de microorganismos.....	54
<b>Figura 9.</b> Relación de la radiación solar con influencia de óxido de titanio y sin oxido de titanio .....	56

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**“PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE**  
**LA FOTOCATÁLISIS CON ÓXIDO DE TITANIO”**

Trabajo de titulación

**Nombre del estudiante:** Pozo Mier John Jairo

**RESUMEN**

El presente trabajo de titulación aborda el estudio científico de la inactivación del agente patógeno *Escherichia coli* inoculado en muestras de agua residual. En este sentido, se estudia el método de desinfección emergente (fotocatálisis heterogénea). El agua es un elemento fundamental para la sociedad, ya sea para el consumo humano o para su empleo en procesos de producción y desde hace varias décadas existe una creciente preocupación en la gestión de los recursos hídricos, en este contexto el trabajo se realizó como una alternativa a las opciones convencionales donde el objetivo principal fue la valoración de la influencia de factores relevantes en procesos de desinfección para la inactivación del indicador de contaminación fecal *E. coli*. Para ello se construyó un sistema de desinfección con unas cochas donde ingresaba el agua residual en la una cocha se colocó óxido de titanio (arcilla del páramo) y en la otra solo el ingreso de agua. Para la evaluación se muestreo durante 21 días, la muestra fue tomada en la hora donde hay mayor incidencia de luz solar que es el medio día (12:00 pm). Los resultados obtenidos de la actividad fotocatalítica con el  $TiO_2$  proporcionan desinfección de coliformes totales en un 60%. Finalmente, el tiempo de incidencia de luz solar y concentración de  $TiO_2$  influyen significativamente en el porcentaje de degradación de coliformes de las aguas residuales. Por lo que se concluye que el tratamiento de las aguas residuales del estadio de la UTN con fotocátalisis heterogénea es viable.

**Palabras clave:** Aguas residuales, coliformes, desinfección, *Escherichia coli*, fotocátalisis.

## ABSTRACT

The present titration work addresses the scientific study of the inactivation of the pathogen *Escherichia coli* inoculated in wastewater samples. In this sense, the emergent disinfection method (heterogeneous photocatalysis) is studied. Water is a fundamental element for society, either for human consumption or for its use in production processes and for several decades there has been a growing concern in the management of water resources, in this context the work was carried out as an alternative to conventional options where the main objective was the assessment of the influence of relevant factors in disinfection processes for the inactivation of the indicator of fecal contamination *E. coli*. To do this, a disinfection system was built with some ponds where the residual water entered into one pond, titanium oxide (clay from the páramo) was placed and in the other only the entry of water. For the evaluation, sampling was carried out for 21 days, the sample was taken at the time where there is the highest incidence of sunlight, which is noon (12:00 pm). The results obtained from the photocatalytic activity with TiO<sub>2</sub> provide disinfection of total coliforms by 60%. Finally, the time of incidence of sunlight and concentration of TiO<sub>2</sub> significantly influence the percentage of degradation of coliforms in the wastewater. Therefore, it is concluded that the treatment of wastewater from the UTN stadium with heterogeneous photocatalysis is viable.

**Keywords:** Wastewater, coliforms, disinfection, *Escherichia coli*, photocatalysis.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Revisión de antecedentes

El continuo crecimiento y expansión de la población humana ha causado el deterioro del medio ambiente provocado por el uso excesivo del agua potable, que a su vez genera aguas residuales (UNESCO, 2017). De esta forma, el tratamiento de aguas residuales es una operación que utiliza diferentes procesos de depuración: físicos, químicos y microbiológicos por medio de mecanismos de tratamiento convencional o natural, en este contexto del agua tratada, son removidos los contaminantes que se encuentran presentes en ella, con la finalidad de que cumpla con los límites permitidos en la norma ambiental (Valencia, 2013).

La contaminación presente en el agua se encuentra en constante crecimiento en todo el mundo, lo que ha motivado a las personas a buscar métodos más amigables con el ambiente que permitan velar, restaurar y que pueda ser aprovechado en futuras generaciones (Buenaño, 2015). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, afirma que el 69% del agua dulce disponible es utilizado para realizar actividades agrícolas, el 23% se destina a la industria y tan solo el 8% al consumo doméstico; por ello la demanda del recurso hídrico está creciendo aceleradamente (Broch, 2008).

En Latino América la contaminación del líquido vital se caracteriza por la extralimitación de nutrientes y de la materia orgánica, generando un deterioro del estado físico-químico, afectando a los ecosistemas acuáticos. Existen métodos tradicionales de tratamientos para las aguas residuales domésticas con una tecnología aplicada, con un alto consumo lo que conlleva a implementar nuevas alternativas amigables con el ambiente (Pérez y González, 2002).

El recurso hídrico en el Ecuador es abundante y por ello en la actualidad se ha producido el envenenamiento de los cuerpos de agua, se encuentra amenazado debido a la sobre explotación y contaminación; con una marcada tendencia al desabastecimiento para las futuras generaciones (Da Ros, 1995). En el país la

descarga excesiva de aguas residuales municipales domésticas e industriales sin tratamiento previo, a través de los sistemas de alcantarillado y desperdicios agrícolas en los diferentes cuerpos de agua (ríos, lagos y estuarios), constituyen un problema significativo que requiere de pronta solución (ETAPA, 2006).

En Imbabura existen cuatro ciudades que tratan las aguas residuales domésticas mediante métodos tradicionales. De acuerdo con información proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable en el cantón Ibarra se trata un 20% del total de aguas residuales generadas y un 80% de aguas contaminadas son derramadas principalmente al río Tahuando el cuál es el principal cuerpo receptor.

En los últimos años, se han desarrollado tecnologías alternativas eficientes y sostenibles con el ambiente para el tratamiento de coliformes totales, la desinfección que es un proceso importante dentro de un sistema de tratamiento de agua, se busca a partir de ella la eliminación de microorganismos existentes que puedan causar enfermedades (Vargas, 2004).

Existen alternativas para la desinfección de aguas como los procesos de fotocatalisis heterogénea, estos representan una opción en la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos de manera eficiente. Igual tienen características que favorecen la descontaminación tales como: tiempo reducido en la inactivación de microorganismos, menor efecto residual toxicológico, mineralización de compuestos, tratamientos descontaminantes en baja concentración y mínima formación de subproductos que permiten el uso de luz solar como fuente energía (Moreno, 2010).

La fotocatalisis heterogénea, es una alternativa de desinfección solar, a partir de la absorción de longitudes de onda inferiores a 400 nm (Solsona, 2002), en presencia de un catalizador (Caraballo, 2012). La luz y el catalizador son necesarios para alcanzar o acelerar una reacción química con el objeto de formar radicales hidroxilos (Arroyave, 20017). Este mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación solar producen una división entre la pared de la célula y la membrana de los microorganismos y

los virus, lo cual deteriora su membrana celular e inhibe su reproducción, y esto genera su eliminación sin causar cambios fisicoquímicos que puedan alterar el agua tratada (Solsona, 2002).

El catalizador más ampliamente usado es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), en forma de anatasa un 99 % y en forma de rutilo un 1 %. El dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) no es tóxico ni genera subproductos cancerígenos (Castro, 2009), y entre sus propiedades ópticas se encuentra como una sustancia con un índice de refracción alto, lo que permite reflejar la luz UV (Sauthier, 2012). Fisicoquímicamente las aguas tratadas por fotocátalisis heterogénea incluyen de forma especial pH a diferentes rangos, variaciones de temperatura sin afectar significativamente la velocidad de las reacciones y turbiedades no mayores a 5 UNT (Solsona, 2002).

La participación de la luz solar en la eliminación de productos químicos de síntesis del ambiente está bien documentada en los muchos artículos publicados en los últimos años (Malato, 2007). Algunas investigaciones apuntan al tratamiento de aguas residuales industriales especialmente, y obtienen reducciones entre 6 y 46 % de la demanda química de oxígeno (DQO), la cual hace referencia a la cantidad de sustancias susceptibles a la oxidación de compuestos químicos presentes en el agua y carbono orgánico total (COT), que determina la cantidad de carbono representativo dentro de un compuesto orgánico con porcentajes de degradación cercanos al 98 % (Garcés, 2005).

Lo anterior sirvió de base para diseñar, construir y evaluar un sistema de desinfección solar de agua con bajos niveles de turbiedad a partir de fotocátalisis heterogénea, para agua residual. La determinación de microorganismos presentes en el agua, más específicamente coliformes totales o fecales, se realizó por medio de placas Petrifilm, las cuales dan resultados confirmados entre 24 a 48 horas (Quintero, Vargas y Sanabria, 2018).

Existe un escaso número de estudios que hacen hincapié al uso de óxido de titanio natural para la degradación de coliformes totales y fecales mediante el proceso de fotocátalisis como el caso de Guimarães, et al. (2001), quien plantea que el uso del óxido de titanio con el proceso de fotocátalisis obtuvo un 95% de eficiencia,



sin embargo, el aumento de temperatura del sistema afecta a la degradación de contaminantes debido a la disminución de la actividad microbiana. En este sentido este proceso de investigación sería pionero aquí en el Ecuador debido a la inexistencia de información o metodologías aplicadas en nuestro medio.

## **1.2 Problema de investigación y justificación**

La mala utilización constante de aguas residuales es uno de los mayores problemas que el planeta enfrenta en la actualidad, las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos, mar) sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause problemas ambientales (Garzón, Miranda y Gómez. 2017).

El inadecuado tamaño en el diseño de las plantas de tratamiento o con déficit de operación en sus procesos físico químicos o biológicos, ya sea en su estado aerobio o anaerobio son susceptibles a generar gran cantidad de coliformes totales, debido a la acumulación de materia orgánica o el inadecuado almacenamiento de lodos, cabe recalcar que las condiciones de pH y la turbiedad al momento de la entrada y salida de agua son susceptibles de generar dichos microorganismos (Morgan, Moiseev y Robles, 2000).

Para dar solución a este problema se aplica el tratamiento de aguas residuales, donde surge esta investigación debido a la reducción significativa del recurso agua, enfocándose en la contaminación especialmente por coliformes fecales provenientes de las aguas residuales domésticas, esto se debe al incremento de la población actual (Carabalí, 2017).

En este sentido esta tesis nace de la búsqueda por una solución a la problemática de alto índice de coliformes totales y fecales originados en el sistema de tratamiento de aguas residuales, ubicada en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, al tratar de minimizar los posibles impactos a la salud y calidad de

vida de los moradores aledaños a la mencionada instalación, de acuerdo a lo estipulado en el Plan Nacional Del Buen Vivir 2017- 2023.

Es fundamental el cuidado del ambiente, manejando los recursos naturales de forma innovadora y valorando los recursos que ya creemos desechados, la convicción de que estas aguas deben ser aprovechadas, junto con la creciente escasez del agua, crean un entorno realista para considerar la reutilización de las aguas residuales.

Al realizar esta investigación se busca encontrar el proceso de fotocátalisis más eficiente en la depuración de las aguas residuales para evaluar la eficiencia de la arcilla que contiene el óxido de titanio, información que puede ser utilizada como base para posteriores implementaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Evaluar la incidencia del dióxido de titanio en la desinfección de aguas residuales usando la luz solar.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar el agua residual con énfasis en microorganismos
- Caracterizar física y químicamente la arcilla con disponibilidad de óxido de titanio
- Evaluar la desinfección del agua tratada mediante el efecto fotocatalizador del óxido de titanio natural

### **1.4 Hipótesis**

- El proceso de fotocátalisis heterogénea con óxido de titanio implementado en aguas residuales domésticas realiza una desinfección de coliformes.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Marco teórico

Las aguas residuales municipales y domésticas tienen grandes cantidades de bacterias coliformes y patógenos que se deben remover para evitar riesgos a la salud y la contaminación ambiental (Tchobanoglous, *et al.* 2003). La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales depende de la cantidad y calidad del agua residual, de las condiciones y del tipo de recolección, de la fuente, uso de equipamiento técnico, del clima y de muchos otros factores (Vítěz, 2012). En las plantas depuradoras se remueven contaminantes en cada fase de tratamiento. Por ejemplo, un porcentaje importante de materia orgánica se remueve en el tratamiento primario y secundario. Sin embargo, en el caso de las bacterias coliformes es necesario aplicar un tratamiento terciario para su remoción (Hammer y Hammer, 2001). En esta última fase se combinan tratamientos para alcanzar niveles de remoción de microorganismos que cumplan con los límites máximos establecidos en la normatividad.

Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales. En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales (Lozano, 2012).

Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado. El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro. La temperatura del agua residual es

mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20° C; esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones. El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos (Vásquez y Valdez, 2003).

### ***2.1.1. Desinfección de aguas residuales***

Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro (Rojas, 2002).

Nunca debe olvidarse que las aguas residuales son usadas directamente o indirectamente para fines como:

- Usos agrícolas
- Recarga de acuíferos
- Usos recreativos
- Usos industriales
- Usos municipales

#### ***2.1.1.1 Mecanismos de desinfección***

Los agentes desinfectantes normalmente utilizados en aguas inactiva a los microorganismos por interacción (reacción) química, como también la inactivación de los microorganismos por irradiación se debe a la absorción de radiación ultravioleta (UV) de alta energía a través de reacciones fotoquímicas en los componentes fundamentales de las células. Por ejemplo, se interrumpe el mecanismo de duplicación o se provoca la muerte de la célula (USEPA, 1999).

El mecanismo de desinfección por UV depende de la absorción de la radiación por las proteínas, y por los ácidos nucleicos (RNA y DNA) de un microorganismo. La absorción de dosis altas de UV por las proteínas presentes en las membranas celulares lleva a la ruptura de esas membranas y, consecuentemente, a la muerte de la célula. En cambio, la absorción de dosis más bajas de UV por el DNA puede interrumpir la capacidad del microorganismo de reproducirse, impidiéndole infectar el medio (Bolsón, 1999).

#### *2.1.1.3 Oxidación Avanzada*

Los procesos de oxidación avanzada implican la formación de radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\bullet$ ) altamente reactivos con un elevado potencial de oxidación ( $E^\circ = 2.8 \text{ V}$ ), de gran efectividad para el proceso de oxidación de compuestos orgánicos principalmente por abstracción de hidrógeno, mediante la generación radicales orgánicos libres, disponibles para reaccionar con oxígeno molecular y formar peroxiradicales (Malato, 2001).

#### *2.1.1.4 Radiación Solar y aplicación en la fotocatalisis*

La interacción de la materia con la luz se realiza desde el punto de vista microscópico, como un proceso de absorción de un fotón que conlleva la creación de un par electrón-hueco creando excitaciones. La materia puede interactuar con la luz en un amplio rango de longitudes de onda y con diversos cambios en la estructura de las moléculas. Las radiaciones cerca al espectro visible o ultravioleta (240-700nm) interactúan con los electrones de una molécula y estas reacciones son las más importantes desde el punto de vista ambiental (Marín, 2002).

La luz solar es una energía directa, primaria, abundante y barata que en muchos casos es absorbida por compuestos químicos para producir procesos foto líticos. La interacción de la luz con los sistemas moleculares se da a escala molecular donde ésta interactúa con un fotón, en la que A representa el estado fundamental de la molécula,  $h\nu$  es el fotón absorbido y  $A^\bullet$  la molécula en estado excitado (Ávila, 2009).

### **2.1.2 Fotocatálisis**

Los métodos fotolíticos para la degradación de contaminantes disueltos en el agua se basan en proporcionar energía a los compuestos químicos en forma de radiación, que es absorbida por las distintas moléculas para alcanzar estados excitados en el tiempo necesario para experimentar en presencia de radiación ultravioleta se produce la fotólisis de un gran número de compuestos orgánicos. El proceso tiene lugar en el dominio del UV-C (210– 230 nm) y se basa en la formación de radicales centrados; es decir, radicales libres (Garcés, 2003).

La eficiencia del proceso depende principalmente de la capacidad de absorción de radiación y de la presencia de otros compuestos que absorben la misma longitud de onda. En los procesos de oxidación fotolíticos normalmente se utilizan lámparas de mercurio de baja presión (254 nm, 471 KJ/mol) empleadas tanto en la desinfección como en la depuración de las aguas. Sin embargo, es necesario llevarlas a longitudes de onda más bajas (170-200 nm), ya que llevan asociada una mayor energía (704-598 KJ/mol) y son más eficientes en la ruptura de los enlaces de los compuestos orgánicos (Marin.2002).

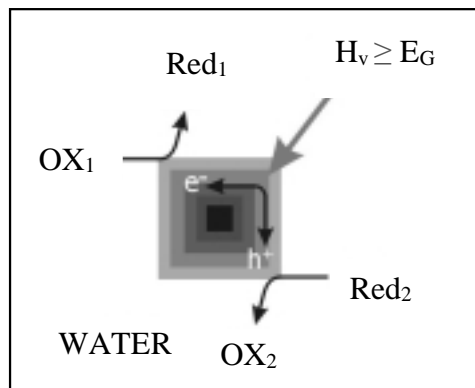
Igualmente, la eficiencia de degradación de compuestos a partir de la luz absorbida se mide a través del rendimiento cuántico, el cual se define como la relación entre el número de moléculas que reaccionan y el número de fotones absorbidos. Un aspecto a tener en cuenta es la presencia de oxígeno en el proceso de oxidación. Se ha probado en la fotólisis la existencia de diferentes reacciones en función de la distancia a la fuente de radiación, debido a la diferente concentración de oxígeno presente (Greela, 2001).

Como ya se ha mencionado, la fotocatálisis implica la combinación de la fotoquímica con la fotocatálisis. Ambos, luz y catalizador, son necesarios para alcanzar o acelerar una reacción química. Así, la fotocatálisis puede ser definida como la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador. En el caso de la fotocatálisis heterogénea, se emplean semiconductores (sólidos en suspensión acuosa o gaseosa). Existen múltiples de estos foto-sensibilizadores tales como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ . Sin embargo, el más ampliamente usado en

aplicaciones fotocatalíticas es el dióxido de titanio en forma de anatasa 99% y en forma de rutilo 1%, ya que presenta una mayor actividad fotocatalítica, no es tóxico, es estable en soluciones acuosa y no es costoso, habiéndose evaluado diferentes estructuras del mismo (Garcés, Mejía y Santamaría, 2004).

### 2.1.2.1 Fotocatálisis heterogénea

Cuando un semiconductor está en contacto con un electrolito conteniendo un par redox, la transferencia de cargas ocurre a través de la interfase sólido/líquido (heterogénea), como consecuencia de la diferencia de potencial entre las dos fases. Se forma un campo eléctrico en la superficie del semiconductor y las bandas se curvan con la forma del campo eléctrico desde el interior del semiconductor hasta la superficie. Durante la fotoexcitación cuando un fotón de energía suficiente es absorbido, las bandas curvadas adquieren las condiciones necesarias para la separación de cargas (Figura 1) (Rodríguez, 2001).



**Figura 1.** Representación esquemática de una partícula de semiconductor excitada con radiación ultravioleta  
**Fuente:** (Vidal, 2002).

Como se ha mencionado anteriormente, cuando se han tratado los procesos de oxidación avanzada se cree que el radical  $OH^\bullet$  es la principal especie oxidante, responsable de la fotodegradación de la mayoría de los compuestos orgánicos estudiados, aunque en el caso del empleo del  $TiO_2$  el proceso de degradación mediante transferencia electromagnética ha sido de mucho interés por los huecos ( $h^+$ ) producidos en la banda de valencia del semiconductor. Para el caso del  $TiO_2$ , (Ecuación 2) en forma de anatasa, se somete a radiación con una longitud de onda

inferior de 400 nm, se genera un exceso de electrones en la banda de conducción y huecos positivos  $h^+$  en la banda de valencia (Ecuación 1) (Martianov, 2003).



Formula de reacción entre la radiación y longitud de onda

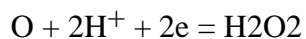
**Fuente.** (Vidal, 2002).

En la superficie del  $TiO_2$  los huecos reaccionan tanto con  $H_2O$  absorbida (reacción 18) como con grupos OH para formar radicales hidroxilos ( $OH^\bullet$ ) (Ecuación 2).



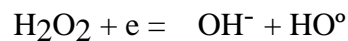
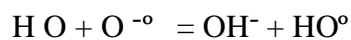
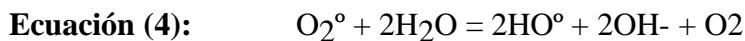
Reacción de los hidroxilos del  $TiO_2$

Por su parte, los electrones en exceso de la banda de conducción reaccionan con el oxígeno molecular para formar radicales superóxidos y peróxido de hidrógeno (Ecuación 3).



Reacción de radicales para formar superóxidos

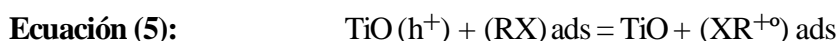
Tanto el radical superóxido como el peróxido de hidrógeno generan más radicales hidroxilos mediante las siguientes reacciones (Ecuación 4).



Generación de radicales hidroxilos



El último término, el radical hidroxilo HO° generado, provoca la completa mineralización de muchas sustancias orgánicas. Dependiendo del equilibrio de adsorción/desorción para un contaminante dado, la oxidación fotocatalítica de un sustrato orgánico adsorbido podría incidir en la eficiencia de su degradación oxidativa (Ecuación 5).



Eficiencia de degradación oxidativa

#### 2.1.2.2 Longitud de onda o intensidad de la luz

El dióxido de titanio absorbe longitudes de onda inferiores a 400 nm, que corresponden al espectro ultravioleta. Cualquier radiación de estas características tendrá la capacidad de generar en el semiconductor par electrón hueco. La distancia de penetración de los fotones dentro de la partícula de TiO<sub>2</sub> es más corta cuanto menor es la longitud de onda ya que son absorbidos por las moléculas del semiconductor con más fuerza. Debido a esto, el empleo de longitudes de onda más corta (UV-C) generan los pares electrón-hueco más cerca de la superficie, siendo menor el tiempo empleado para la migración de estos pares electrón-hueco hasta la superficie de la partícula y, por tanto, menores las posibilidades para que ocurra la recombinación de los mismos antes de que se produzca en la superficie de la partícula las reacciones con las especies químicas presentes en el agua. En conclusión, el aprovechamiento de la energía absorbida es mayor cuanto menor es la longitud de onda empleada (Franco, 2000).

- *Efecto del oxígeno*

Los huecos generados en la fotocatalisis producen radicales hidroxilos en la interfase del semiconductor con el agua. Por otro lado, los electrones generados requieren una especie aceptadora de electrones, evitando de esta forma la recombinación de éstos con los huecos. Así, el oxígeno molecular actúa como aceptor de electrones generándose el radical superóxido, promotor de más radicales hidroxilos. La presencia de oxígeno es por tanto esencial para que se produzca una oxidación efectiva. Por otro lado, una aireación controlada permite

la continua suspensión del catalizador en la disolución, favoreciendo una degradación más homogénea (Gómez, 2000).

El oxígeno es el oxidante más empleado ya que es el más barato y no compite con el sustrato en el proceso de adsorción. Se ha comprobado que cuando desaparece el oxígeno disuelto en el agua y no existe ninguna otra especie oxidante el proceso fotocatalítico, se detiene totalmente (Malato, 2001).

- *Temperatura y PH*

La variación de la temperatura no afecta significativamente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas. Aparentemente el pH no afecta notablemente este tratamiento ya que se han obtenido buenos resultados empleando TiO<sub>2</sub> a diferentes rangos de pH, pero también se ha comprobado que éste afecta el tamaño de las partículas, la carga superficial y las posiciones de los máximos y mínimos de las bandas del TiO<sub>2</sub> debido a su carácter anfotérico. Debe trabajarse a un pH diferente al punto isoeléctrico para el TiO<sub>2</sub> (pH7), donde la superficie del óxido no está cargada (Marín, 2002).

- *Concentración inicial del contaminante*

Las cinéticas de degradación fotocatalítica siguen generalmente el mecanismo de *Langmuir Hinshenlwod* donde la velocidad de reacción varía proporcionalmente a la fracción de superficie cubierta por el sustrato (Ecuación 6) (Hincapié, 2002).

**Ecuación (6):**

$$\frac{dC}{dt \text{ inicial}} = r = k \frac{KC}{1 + KC}$$

Cinética de degradación  
**Fuente.** Garcés (2001)

Donde k es la constante de velocidad de reacción y K es la constante de adsorción del compuesto. Los valores de las constantes son influenciados por el pH, la temperatura, el catalizador y la intensidad de la radiación además de las propiedades de los compuestos involucrados (Hincapié, 2002).

### 2.1.3 *Microorganismos indicadores de la calidad de agua*

Varios organismos patógenos de transmisión fecal-oral pueden estar presentes en el agua residual, entre ellos bacterias como *Salmonella sp*, *Shigella sp*, coliformes totales y fecales, los cuales han sido encontradas en abastecimientos de aguas. Las bacterias coliformes, son el principal indicador de la adecuación del agua para uso doméstico, industrial, o de otro tipo. La experiencia ha demostrado que la densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación y, por tanto, de la calidad sanitaria (Ocasio y López, 2004).

Desde hace tiempo, se reconoce que los organismos del grupo coliformes son un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable, debido a que son bioindicadores de calidad del agua disminuye los costos y facilita la implementación de medidas eficientes de tratamiento, control del agua y de enfermedades asociadas a su transmisión. La presencia de *E. coli* en muestras de agua potable, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, integridad, sistema de distribución y por tanto es una evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

Cabe señalar, sin embargo, que, aunque se reconoce que la determinación de la concentración de estas bacterias en el agua es un elemento crítico para determinar el riesgo de enfermedades relacionadas al consumo de la misma, no existe una relación simple entre el nivel de coliformes en el agua con la presencia de patógenos en la misma y el riesgo de enfermedades (Perdomo, 2001).

#### 2.1.3.1 *Coliformes totales*

El grupo coliformes se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 °C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en 24 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la *B-galactosidasa* (Ministerio de salud, 1998). Entre ellos se encuentran los diferentes *Escherichia*

*coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

La prueba más relevante utilizada para la identificación del grupo Coliformes, es la hidrólisis de la lactosa. El rompimiento de este disacárido es catalizado por la enzima B-D- Galactosidasa. Ambos monosacáridos (la galactosa después es transformada en glucosa por reacciones bioquímicas) posteriormente son metabolizados a través del ciclo glicolítico y ciclo del citrato. Los productos metabólicos de estos ciclos son ácidos y/o CO<sub>2</sub>. Para la determinación de la *B-Galactosidasa* se utilizan medios cromógenos tales como *chromocult* (Manafi, 1998).

#### 2.1.3.3 Coliformes fecales

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E. coli*, pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* estos últimos hacen parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen se asocia normalmente con la vegetación y solo ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes, 1993).

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás microorganismos que hacen parte de este grupo, en que son indol positivo, su rango de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio (hasta 45°C) y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la flora intestinal y de ellos entre un 90% y un 100% son *E. coli* mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (Gomes, 1999).

### 2.1.3.4 *Escherichia Coli*

Originalmente llamada *Bacterium* comune, fue aislada por primera vez en 1985 a partir de heces de niños; son bacilos Gram positivos de 1.1 a 1.5  $\mu\text{m}$  de diámetro y de 2 a 6  $\mu\text{m}$  de longitud, se encuentran solos o en parejas, Gram negativos, móviles por flagelos peritricos o inmóviles, anoxigénicos facultativos, poseen metabolismo respiratorio y fermentativo (Leminor, 1994).

Pertenciente a la familia *Enterobariaceae*, son coliformes capaces de producir indol a partir de triptófano, en 21 +/- 3 horas a 44 +/- 0.5°C. También poseen la enzima B- Galactosidasa, que reacciona positivamente en el ensayo del rojo de metilo y pueden descarboxilar el ácido L- glutámico, pero no son capaces de utilizar citrato como única fuente de carbono o de crecer en un caldo con cianuro de potasio (Tabla 1) (Millipore, 2005).

**Tabla 1.** Características de Coliformes Totales y *E. coli*

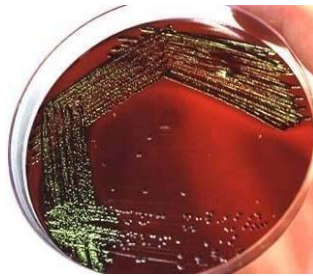
Técnicas en Agua residual	Coliformes totales	<i>E. coli</i>
Filtración por membrana	Bacterias Gram Negativas	Bacterias Gram negativas
Enzima sustrato	No esporulados	No esporulados
Sustrato Definido	Anaerobios facultativos	Anaerobios facultativos
Presencia/Ausencia	Fermentadores de la lactosa con producción de ácido y gas a 36+/- 1°C en 24-48 horas	Fermentadoras de la lactosa con producción de ácido y gas a 36 +/- 1°C en 24-48 horas y 44.5 +/- 0.2°C en 24 horas
	Hábitat: Tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente (bacterias entéricas) son comunes en otros ambientes (suelos, vegetales, agua)	Características de heces de animales homeotermos

**Fuente:** Memorias seminario internacional: El agua y los riesgos para la salud (2016).

*E. coli* es la única especie dentro de las Enterobacterias que presenta la enzima B- D- Glucoronidasa, que degrada el sustrato 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucorónico (MUG), formando 4-metilumbeliferona, este producto tiene la propiedad de emitir fluorescencia azul/verde cuando se ilumina con luz ultravioleta Manafi (1998). *E. coli* presenta características bioquímicas importantes que permiten la diferenciación con otros coliformes, como ser

positivo para la prueba de indol.

El indol es uno de los productos de degradación metabólica del aminoácido triptófano. Las bacterias que poseen la triptofanasa son capaces de hidrolizar y desaminar el triptófano con producción de indol, ácido pirúvico y amoníaco. La prueba de indol está basada en la formación de un complejo rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del p-dimetilaminobenzaldehído. Este es el principio activo del reactivo de Kovac's descrito más adelante. El medio de cultivo utilizado debe ser rico en triptófano (Figura 1) (Hopkins y Hilton, 2000).



**Figura 2.** Escherichia coli en Agar EMB

**Fuente.** (Asian, 2016).

#### **2.1.4 Métodos de ensayo microbiológico**

El análisis microbiológico tiene como fin proporcionar información confiable acerca de la inocuidad y calidad sanitaria de una muestra cualquiera. Es por ello que es indispensable la elección de un método de ensayo adecuado.

Para decidir si un método es apropiado o no, se debe tener en cuenta: si ese método es aplicable a la muestra a analizar, la cantidad de muestra necesaria para el ensayo, si usando esta metodología se puede evaluar el cumplimiento de las exigencias requeridas para el análisis. El laboratorio debe elegir los métodos que mejor se adecuen a sus objetivos y debe documentarlos debidamente. (Guarnizo, 2005).

##### **2.1.4.1 Pruebas Cualitativas de Microorganismos**

Este tipo de pruebas se caracteriza por el uso de turbidez en un medio líquido de crecimiento como evidencia de la presencia de microorganismos viables

en la muestra de la prueba (Tabla 3) (USP 31, 2008).

#### 2.1.4.2 Pruebas Cuantitativas de Microorganismos

El método de recuento en placa es el ejemplo más común de esta clase de pruebas que se emplean para estimar el número de microorganismos viables en la muestra (Tabla 2) (USP 31, 2008).

**Tabla 2.** Parámetros de Validación por tipo de prueba microbiológica

<b>Parámetro</b>	<b>Pruebas cualitativas</b>	<b>Pruebas cuantitativas</b>
Exactitud	No	Si
Precisión	No	Si
Especificidad	Si	Si
Límite de detección	Si	Si
Límite de cuantificación	No	Si
Linealidad	No	Si
Robustez	Si	Si
Repetibilidad	Si	Si

**Fuente:** USP 31, 2008.

Un laboratorio debe validar los métodos no normalizados, los métodos que diseña o desarrolla, los métodos normalizados empleados fuera del alcance previsto, así como las ampliaciones y las modificaciones de los métodos normalizados, para confirmar que son aptos para el fin previsto. La validación debe ser tan amplia como sea necesario para satisfacer las necesidades del tipo de aplicación o del campo de aplicación dados. El laboratorio debe registrar los resultados obtenidos, el procedimiento utilizado para la validación y una declaración sobre la aptitud del método para el uso previsto. (Carrillo y Lozano, 2008).

#### 2.1.4.3 Métodos normalizados

Son métodos que el laboratorio aplica como ya está descrito en un procedimiento o en una norma, en este caso también es necesario anexar o

volver a escribir bajo forma de procedimientos las especificaciones reconocidas que tengan suficiente información para realizar los ensayos (G-ENAC. 1997).

El laboratorio debe confirmar que puede operar correctamente los métodos normalizados antes de introducir los ensayos. Si el método normalizado cambia se debe repetir la confirmación.

#### *2.1.4.4 Métodos desarrollados por el laboratorio*

Elaborados en el laboratorio y no se encuentran en ningún documento oficial, debe ser una actividad planificada y debe ser asignada a personal calificado y proveer los recursos necesarios (G-ENAC. 1997)

#### *2.1.3.5 Métodos normalizados con modificaciones*

Son métodos tomados de una norma, pero con alguna modificación, tal es el caso de una filtración con membrana utilizando otro medio de cultivo diferente; aquí se debe realizar lo mismo a como si se estuviera realizando la validación de un método desarrollado por el laboratorio, debido a que ya existe una modificación sobre el método normalizado (Carrillo y Lozano, 2008).

## **2.2 Marco legal**

### ***2.2.1 Constitución de la República del Ecuador***

En la Constitución de la República del Ecuador puesta en vigencia en el 2008, postula varios artículos que sustentan la presente investigación: En el Art.14 se menciona que el vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado es un derecho de la población *sumak kawsay.*, en donde la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la integridad del patrimonio genético del país, la biodiversidad y recuperación de espacios naturales degradados son de interés público, de tal manera la población tiene la responsabilidad de trabajar en actividades que ayuden a conservar y recuperar los recursos naturales degradados o en peligro. También el Art. 15.- Donde el estado promoverá, en el sector público



y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho del agua.

### **2.2.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)**

De acuerdo con el Art. 190 el Ministerio de Ambiente del Ecuador tiene el Sistema Único de Manejo Ambiental, de la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración.

Tomando en consideración el Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código, donde las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

El Art. 196.- Menciona que: Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización,

siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades.

### ***2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).***

El Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización en el Art 55 literal d), enfoca las competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal, tendrán la competencia de Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

### ***2.2.4 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (TULSMA).***

Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado, posee los criterios que sustentan la presente investigación con los siguientes literales:

Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental Competente que corresponda.

Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto

incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.

Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

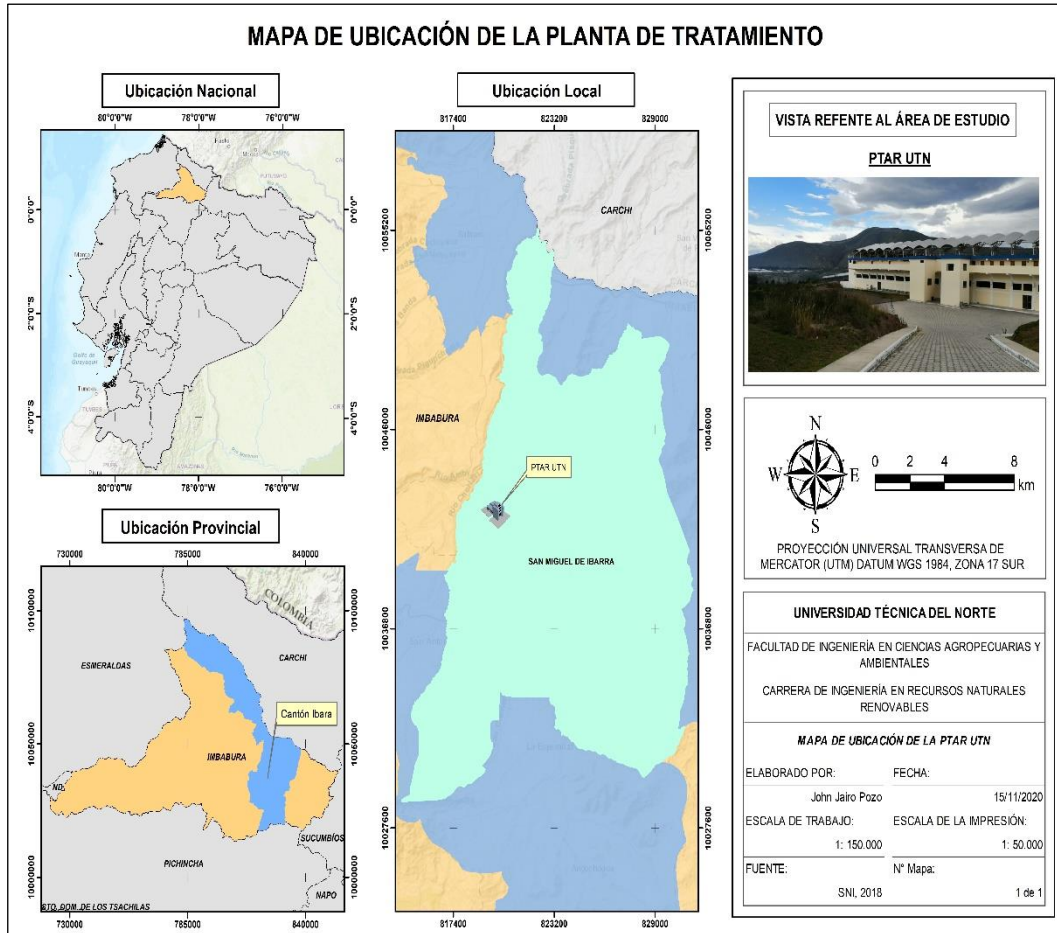
#### 3.1 Descripción del área de estudio

Este estudio se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales del estadio de la Universidad Técnica del Norte (UTN), Parroquia de Priorato, al noreste del cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Esta planta de tratamiento recibe el agua residual de la parte alta de huertos familiares y es utilizada para el riego del gramado del estadio, posterior a su tratamiento, en la Tabla 3 se detallan las coordenadas donde se encuentra ubicada la Planta de Tratamiento de la UTN.

**Tabla 3.** Coordenadas de zona de estudio

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
820505	10041825	2230 msnm
820188	10041833	2250 msnm
820200	10042027	2240 msnm
820391	10042110	2220 msnm

En base a los datos del INEC, el barrio Huertos Familiares tiene una población de 845 habitantes con un índice de crecimiento de 1.2%. Además, presenta una topografía irregular, con una precipitación promedio de 623 mm y una temperatura media de 16.3 grados centígrados (Figura 2).



**Figura 3.** Ubicación del área de estudio

### 3.2 Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron se encuentran por fases es decir desde la fase de construcción, toma de muestras protección personal y fases de laboratorio y equipos in situ que se utilizó (Tabla 4).

**Tabla 4.** Listado de materiales

<b>Fase de Campo</b>	
• Volqueta	• Frascos Estériles
• Tractor	• Etiquetas
• Cemento	• Coolers
• Manguera	• Libreta de Campo
• Bomba de media hp	• Flexómetro
• Plástico negro	• Fundas
• Arcilla con Oxido de Titanio	• Mascarillas
• Canales de Desfogue	• Guantes de caucho
• Agua residual	• Botas de caucho
• Palas	• Gel antiséptico
• Machete	• Gorras
• Cableado	• Guantes quirúrgicos
<b>Fase de Laboratorio</b>	
• Análisis físicos	
• Análisis químicos	
• Caracterización de arcilla	
• Medición de coliformes	

Se detalla la utilización de los equipos utilizados tanto en fase de campo, fase de escritorio y Fase de laboratorio para el proceso de investigación que se realizó en la desinfección de aguas residuales (Tabla 5).

**Tabla 5.** Equipos campo, escritorio y laboratorio

<b>Fase de Campo</b>	<b>Fase de Escritorio</b>	<b>Fase de Laboratorio</b>
• Cámara fotográfica	• Computadora	• Cámara de flujo
• GPS Garmin	• Impresora	• Agitador
• Eco kit portátil de medición de parámetros: pH, conductividad temperatura.	• Proyector	• Balanza digital
	• Escáner	• Mechero de bunsen
	• ArcGIS 10.2	• Agar Cromogénicos
		• Agua destilada
		• Cajas Petri plásticas

### 3.3 Métodos

La investigación se realizó en tres etapas: 1) se caracterizó el agua residual antes de la desinfección; 2) se caracterizó física y químicamente la arcilla y 3) se evaluó la desinfección del agua tratada.

### 3.3.1 Caracterización del agua residual antes de la desinfección.

#### 3.3.1.1 Fuente de captación

El tratamiento comienza en las fosas de captación y conducción, para el muestreo, medición del caudal y de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos *in situ* como: pH, temperatura y sólidos disueltos: Ph, sólidos suspendidos, DQO, DBO, nitritos, fosfatos, *E.coli* y coliformes totales (Tabla 6).

**Tabla 6.** Parámetros de agua residual

Parámetros	Unidad	Método
pH	Unidades	
Sólidos Suspendidos	mg/l	SM 2540D
DQO	mg/l	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
DBO	mg/l	SM 5210
Nitratos	mg/l	Método HACH 8048
Fosfatos	mg/l	Método HACH 8048 x el factor
<i>E. Coli</i>	ml/cm3	
Coliformes totales	ml/cm3	

- *Procedimiento para la toma de muestras*

Para la toma de las muestras de agua se siguieron los siguientes pasos:

- a) Preparación del muestreo (Tabla 7).

**Tabla 7.** Preparación de los envases para la toma de muestra

Preparación de los envases para la toma de muestra
Preparación de las fichas de cadena de custodia
Coordinación para el transporte de las muestras
Calibración y preparación de los equipos de campo para análisis " <i>in situ</i> "
Preparación del equipo de muestreo (guantes, GPS, cámara fotográfica, coolers, etc.) Preparación de los equipos de seguridad
Organización de la logística para la campaña de muestreo

b) Toma de muestras

La toma de muestras se realizó mediante los siguientes pasos (Tabla 8):

**Tabla 8.** Pasos para toma de muestras

<b>Procedimiento de toma de muestras</b>
Se llenó el recipiente de muestreo con una porción de agua del cuerpo hídrico muestreado.
Se registró de localización del punto de muestreo real con GPS
Se caracterizó el sitio con fotografías
Se identificó la muestra
La toma de muestras se la realizó sumergiendo el envase de forma contraria al flujo, evitando la inclusión de aire por flujo turbulento.

c) Análisis de campo

Después de que se tomaron las muestras en el cuerpo de agua, se miden los parámetros *in situ* establecidos en el plan de muestreo, siguiendo los siguientes pasos (Tabla 9):

**Tabla 9.** Análisis de muestras tomadas en campo

Se sumergió la sonda limpia del equipo de campo en el cuerpo de agua a muestrear
Análisis de pH y sólidos disueltos
Las mediciones se realizaron según los procedimientos e instructivos de operación del equipo y los resultados de los análisis de campo se registraron en el formato de muestreo.

d) Llenado de recipientes y preservación de muestras

- Los recipientes para muestras microbiológicas se llenaron hasta tres cuartas partes de su capacidad para permitir la aireación y asegurar la supervivencia de los microorganismos a ser cuantificados.
- Se preservaron las muestras en coolers a 4° C y con los químicos adecuados, si los análisis lo ameritan.
- Se tapó herméticamente cada recipiente y rotuló con la identificación de la muestra, fecha de muestreo, persona responsable, parámetros a analizar, laboratorio encargado.



e) Sellado de recipientes

Después de que las muestras fueron envasadas y preservadas (si lo requieren) se sellaron las botellas, secando la parte superior de cada una con papel absorbente o un trapo limpio y se cubrieron con varias vueltas de cinta de enmascarar (masking tape) alrededor de la tapa y la boca del recipiente, para asegurar que la tapa no se afloje.

f) Almacenamiento de muestras

Es importante evitar el uso de hielo seco o aditivos al hielo para impedir que las muestras se congelen, lo que puede provocar que los recipientes se abran o se rompan y en determinados casos puedan alterar las características de la muestra.

g) Transporte de muestras

En este paso fue importante verificar que el recipiente de almacenamiento de las muestras contenga suficiente hielo lo que permitió asegurar que la refrigeración se mantendrá hasta la llegada al laboratorio. De igual forma fue necesario asegurar que las tapas de los recipientes estén bien cerradas, de tal manera que durante el viaje no se destapen.

h) Entrega de muestras al laboratorio

Se mantuvo la custodia permanente de las muestras por la persona encargada del muestreo hasta que éstas fueron entregadas al laboratorio. En las instalaciones del laboratorio el responsable del muestreo entregó las muestras al responsable de recibirlas, junto con los registros de cadena de custodia.

### ***3.3.2 Caracterización física y química de la arcilla***

El análisis gravimétrico consistió en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea susceptible de pesarse (Chupina, 2006).

Los cálculos se realizaron con base en los pesos atómicos y moleculares, y se fundamentan en una constancia en la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría) de las reacciones químicas (Chupina, 2006).

### *3.3.2.1 Toma de muestras de arcilla*

Las muestras de la arcilla se tomaron a partir de estratos en las minas ubicadas en parroquia San José de Quichinche, cantón Otavalo, la provincia de Imbabura; el clima de éste lugar varía de templado a frío con una temperatura fluctuante de 8° C a 15° C.

La toma de muestras se realizó en forma aleatoria, 2 muestras de 5 kg cada una. Éstas fueron tomadas el 20 de octubre del 2018 por el encargado del levantamiento topográfico de la empresa UNACEM y dos personas más delegadas para la limpieza del terreno, las muestras indisturbadas obtenidas por maniobra mediante el barril muestreador. El área de estudio correspondió a un depósito relativamente pequeño cubierto en su totalidad por piroclastos de origen cuaternario, suelo vegetal con gran cantidad de raíces, y alta humedad.

### *3.3.3 Análisis químicos y físicos – mecánicos de las muestras*

Los análisis químicos y físico - mecánicos se realizaron en los Laboratorio de Control de Calidad para materias primas de la empresa Cementos Selva Alegre y se procedió de la siguiente manera: homogenización de la muestra dividiéndola en cuatro partes iguales, de las cuales se toma dos partes, luego se homogeniza y se cuartea nuevamente tomando dos partes, continuándose con el mismo proceso hasta que se obtuvo una muestra de 80gr de peso y la muestra sobrante se almacena como testigo.

#### *3.3.3.1 Ensayos químicos*

- Porcentaje de humedad

Es importante determinar la cantidad de agua que contiene la muestra: a partir

de una muestra de arcilla de 50 g, posteriormente secada en una estufa a 120°C durante una hora. Determinándose el porcentaje de humedad por diferencia de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca.

- Análisis químico por difracción de rayos X

La muestra de arcilla seca previamente molida en el molino de discos y posteriormente prensada en forma de pastilla con una superficie y granulometría apropiada para el análisis en el equipo de Rayos X T.E.F.A. (Tube Exiting Fluorescence Analyser), durante 5 minutos. Los óxidos que fueron analizados se muestran a continuación (Tabla 10).

**Tabla 10.** Óxidos analizados en las muestras de arcillas

Fórmula	Óxidos
SiO <sub>2</sub>	Sílice
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminio
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hierro
CaO	Calcio
MgO	Magnesio
Na <sub>2</sub> O	Sodio
K <sub>2</sub> O	Potasio
TiO <sub>2</sub>	Titanio

**Fuente:** Mena (2006)

- Porcentaje de pérdida al fuego, o por calcinación.

Este procedimiento sirvió para determinar los elementos volátiles (CO<sub>2</sub>) y la materia orgánica (cantidad de carbonatos presentes absorbidos por meteorización), para lo cual se calcinó un gramo de muestra en una mufla a 1400°C durante una hora.

### 3.3.3.2 *Evaluar la desinfección del agua tratada*

- Medición de parámetros físicos y onda de luz

La presencia o ausencia de coliformes, pH sólidos disueltos el índice de radiación también son variables en función de la carga hidráulica. Sin embargo, se estudió el comportamiento de la incidencia de la radiación y la temperatura

en la eliminación de microorganismos; asimismo, la influencia de la turbiedad en el paso de la radiación dentro del sistema de fotocátalisis heterogénea. Las mediciones in situ fueron realizadas para obtener estados del tiempo aleatorios y estudiar la incidencia en la desinfección de acuerdo con el comportamiento de las variables mencionadas (Tabla 11).

**Tabla 11.** Parámetros de medición

Parámetros	Equipo	Método	Descripción
Coliformes totales	Placas de Petrifilm	Presencia o ausencia	Certificado de placas de recuento de coliformes.
Caudal			Vertedero Thompson
Radiación	Aplicación UV	World	Mide los niveles de radiación UV
			Estación meteorológica de la UTN

**Fuente.** (Quintero, 2017)

El factor de la radiación solar se determina con base a la radiación solar diaria entre las 9:00 y 15:00 horas, se obtuvo la media y determino la hora donde inside el valor máximo de radiación solar que fue a las 12:00 horas por lo cual fue la hora donde se realizó la toma de la muestra de agua para análisis se fundamentó con base a los criterios de la heliofania (similitud del aprovechamiento de la energía solar en cultivos). Fasulo (2009) manifiesta que, el movimiento aparente del sol determina la duración del día y de la noche en cualquier punto de la superficie terrestre. Al ingresar a la atmósfera, la radiación sufre distintos procesos físicos. Una fracción de la misma es absorbida y otra es difundida por la atmósfera, llegando el resto a la superficie terrestre en forma de radiación directa.

- Medición de parámetro microbiológicos

Se tomó muestras concretas en el afluente y en el efluente. Posterior a esto, se realizó un análisis de laboratorio de características microbiológicas. Las principales variables que influyen en la desinfección se presentaron de acuerdo con estas, donde se estableció el número de muestreos y de muestras por realizar (Tabla 12).

**Tabla 12.** Número de muestreo

Parámetro	Número de semanas	Veces por semana	Veces al día	Hora	Número total
Índice de radiación	3	7	5	9am a 12pm	100
Coliformes	3	7	1	12:00 p. m.	21

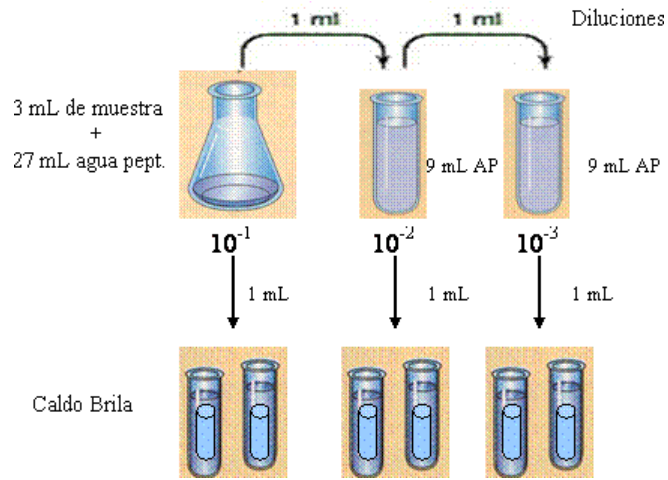
**Fuente.** (Quintero, 2017)

- Procedimiento Método para coliformes totales

"Ensayo cromogénico para la galactopiranosidasa. La prueba es similar a la prueba ONPG, excepto el color, un resultado positivo es rojo a magenta. Del mismo modo, X-Gal (5-bromo-4-cloro-3-indolil-D-galactopiranosido) se hidroliza mediante galactopiranosidasa para dar un producto azul." A continuación se detallan los pasos seguidos para la determinación de coliformes:

- Tomar 1 ml de muestra y trasladar a un tubo de ensayo con 9 ml de agua de peptona, agitar en el vortex por 10 seg (dilución 10-1).
- Del tubo de ensayo de dilución 10-1, tomar 1 ml y disolver en un tubo con 9 ml de agua de peptona, agitar en el vortex por 10 seg (dilución 10-2).
- Del tubo de ensayo de dilución 10-2, tomar 1 ml y disolver en un tubo con 9 ml de agua de peptona, agitar en el vortex por 10 seg (dilución 10-3).
- Del tubo de ensayo de dilución 10-3, tomar 1 ml y disolver en un tubo con 9 ml de agua de peptona, agitar en el vortex por 10 seg (dilución 10-4).
- De éste último tubo, tomar 1 ml, dispersar con micropieta sobre caja petri y cubrir con agar cromogénico fundido a T° de 40 °.
- Dejar que el agar se solidifique e incubar a T° de 37 °C por 24 horas.
- Distinguir las colonias violetas y azules de las demás e identificarlas como coliformes fecales.

- Contar las colonias y multiplicar por  $1 \times 10^3$ , y reportar como UFC/ml de agua de coliformes fecales (Figura 3).



**Figura 4.** Siembra de muestra

**Fuente.** (Manual de laboratorio UTN, 2015)

Los resultados que se obtuvieron se registraron en ml/cm<sup>3</sup>, cabe destacar que cuando el procedimiento este realizado en aguas los resultados se deberán registrar por 100 ml, posteriormente se procedió a incubar a 37 °C por 24 h.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización el agua residual antes de la desinfección

##### 4.1.2 *Etapa de construcción*

Los componentes empleados para el evaluar la desinfección consiste; de una bomba de alimentación, fosas de distribución con el vertedero Thompson en cada una, las cochas impermeables de desinfección por radiación UV una con arcilla en el fondo y otra sin ningún material, tuberías de conducción y extracción del agua (Figura 4 y Figura 5).



**Figura 5.** Caja de máquinas y fosas de captación de agua residual



**Figura 6.** Fosas de Recepción de aguas residuales y Tubos de descarga

##### 4.1.2.1 *Cochas de desinfección*

La construcción de las cochas comenzó con el levantamiento topográfico a fin de

aprovechar la geomorfología del terreno luego se realizó el movimiento de tierra para la conformación adecuada de las mismas de acuerdo a las dimensiones indicadas en la Tabla 13).

**Tabla 13.** Volúmenes de excavación de la construcción para el proceso de desinfección de agua residual

<b>Concepto</b>	<b>Largo</b>	<b>Profundidad</b>
Caja de Maquinas donde se encuentra la bomba y el sistema eléctrico para el funcionamiento del sistema de desinfección	1.50 m	0.60 cm
Fosas de captación del agua residual donde se llevó a cabo el proceso de fotocátalisis con el óxido de titanio	6.20 m	0.90cm
Lavandería principal donde ingresa el agua se realiza la medición de volumen de agua y donde se distribuye hacia las cochas para realizar la desinfección	1.50 m	0.90 cm
Tubería en PVC para la recirculación del agua y toma de muestras	7 m	0.50 cm

#### **4.1.2 Análisis físico del agua residual**

El agua común de ingreso a las dos cochas reflejaron la cantidad de solidos suspendidos obteniendo un valor de 112.10 mg/l correspondiente a una carga, es decir un 80%; una cantidad media en relación a otras plantas de tratamiento que llega a bordear el 100% de solidos suspendidos

#### **4.1.3 Caudal**

El caudal ajustado para el estudio es a 3.6 l/seg para cada una de las fosas y se mantuvo constante para precautelar la mínima variabilidad de los parámetros ambientales. Salazar et al. (2019), en el estudio de eficiencia de reactores UASB en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Bucaramanga determinó el caudal, mismo que osciló entre 400 y 500 l/s; valor superior al caudal del presente estudio, debido a que la investigación en Bucaramanga corresponde a un área metropolitana.



### 4.1.3 Análisis Químico del Agua Residual

Se calculó los principales contaminantes de las aguas residuales obteniendo una baja cantidad de nitratos de 5.20 mg/l lo que quiere decir que no se presenta en estas aguas residuales una contaminación por agroquímicos debido a que estos contienen abonos nitrogenados y son los más perjudiciales para el consumo humano y aguas de riego, son utilizadas para la irrigación de la cancha del estadio de la Universidad Técnica del Norte, La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos del análisis químico.

**Tabla 14.** Análisis químico de las aguas residuales

Parámetros	Unidades	Muestra	Método del ensayo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	192.0	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l	70.0	SM 5210
Nitratos (NO)	mg/l	5.20	Método HACH 8039
Fosforo Total	mg/l	3.2	Método HACH 8048 x el factor
Nitrógeno Total	mg/l	57.0	HACH 10072
Fosfatos (PO)	mg/l	9.8	Método HACH 8048

Autores como (Rincón y Pulgarin, 2007) han encontrado resultados similares que confirman la elevada influencia de la composición del agua en la eficacia del proceso. Los iones y la materia orgánica presentes en el agua residual compiten con las bacterias por los radicales, además de dificultar la interacción bacteria-catalizador, adsorbiéndose a la superficie activa del TiO<sub>2</sub> y bloqueando la penetración de la luz, o bien ocupando los sitios activos del catalizador.

### 4.1.4 Análisis microbiológicos

Las muestras superan los límites permisibles del reglamento de la calidad del agua para consumo humano y riego en el cual los *E. coli* fue un 90% y los Coliformes totales 95% es decir una cantidad alta según normas INEN 2011 para consumo humano, riego y uso recreacional los cuales son los principales usos que

se les da a las aguas grises los resultados obtenidos se reflejan en la (Tabla 15).

**Tabla 15.** Análisis microbiológicos del agua residual

Parámetros	Unidades	Muestra	Método del ensayo
<i>E. coli</i>	ml / cm <sup>3</sup>	300000 3 * 10 <sup>5</sup>	Ensayo cromogénicos
Coliformes Totales	ml / cm <sup>3</sup>	840000 8.4*10 <sup>5</sup>	Ensayo cromogénicos

Luego del muestreo respectivo se determinó que el caudal de 3,61/, luego del análisis de la muestra se determinó la existencia de 80% de sólidos suspendidos en unidades de mg/1, de una muestra de 112,10 con SM2540D como método de ensayo. El resultado que expresa Escudra S., et.al. (2009). En donde destaca la existencia de variedad de sustancias químicas, tanto orgánicas como inorgánicas en aguas residuales urbanas, que pueden ser peligrosas para la salud y el medio ambiente, por su toxicidad, persistencia y bioacumulación las mismas que para ser reutilizadas se someten “procesos de filtración (convencional y procesos de membrana), precipitación química, desinfección (cloración, luz ultravioleta), absorción con carbón activo, intercambio iónico, lagunajes, humedales y otros”.

El análisis microbiológico determinó un alto porcentaje de *E. Coli* y Coliformes los mismos que superan las normas INEC de los parámetros de consumo, existiendo relación de este estudio con el presentado por Castro, et.al. (2009) al usar el procedimiento de unión de las técnicas solar y fotocatalítica para desinfectar una dosis de agua con una concentración de *E. coli* de aproximadamente 107 UFC/ml con la diferencia de la incorporación de Ag o Pd para aumentar la acción bactericida. La plata presenta una acción adicional a la fotocatalítica debido a sus propiedades bacteriostáticas, mientras que el Pd mejora la fotoactividad gracias a sus propiedades electrónica, estudios similares en residuos de aguas textiles determinaron que un porcentaje significativo de degradación del naranja reactivo 84 con dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno presentando a la fotocatalisis con luz solar como una alternativa sencilla y económica para el tratamiento de aguas residuales coloreadas de efluentes de la industria textil (Garcés y Peñuela, 2004).

Se considera necesario la intervención de procesos de tratamiento de aguas efectivos que respalden la salud y cuidado ambiental para las futuras generaciones debido a la escasez de agua que se irá dando, por el uso irracional de la misma.

## **4.2 Caracterizar física y químicamente la arcilla**

A continuación, se presenta una descripción detallada de los resultados que se obtuvieron en la toma de muestras.

### **4.2.1 Toma de muestras**

Las dos muestras obtenidas al azar en la mina de arcilla de Quichinche tienen un peso aproximado de 5kg, debidamente rotuladas y protegidas con doble funda plástica, para posterior ser llevada al Laboratorio de Control de Calidad para materias primas de la empresa Cementos Selva Alegre con el fin de someterlas a los respectivos análisis (Figura 6).



**Figura 7.** Muestras de arcillas

Las muestras 1 y 2 enviadas al Laboratorio de Control de Calidad para materias primas de la empresa Cementos Selva Alegre (UNACEM) son reflejadas con los resultados indicados en el Anexo 1. Los resultados que se obtuvieron en el laboratorio en la se ve reflejado el porcentaje de dióxido de titanio que es del 0.66% es decir que tiene una cantidad alta para la realización de la fotocatalisis con el agua residual.

De acuerdo al estudio similar de caracterización fisicoquímica de arcillas realizado en el Municipio de Guapi en la Costa Pacífica Caucana, Colombia Muñoz, et al. (2007), se obtienen resultados concordantes ya que la muestra de arcilla presenta un color amarillo-café y al observarla cuidadosamente se evidencia la presencia de pequeñas franjas de color rojizo que hacen prever la existencia de óxido de hierro. El estudio realizado en muestras que corresponden a sedimentos arcillosos proceden de las regiones de Bolivia Ticona et al. (2006) no coinciden con los resultados de esta investigación ya que se determinó que estos sedimentos contienen una fracción fina compuesta esencialmente por esmécticas del tipo montmorillonita, la muestra de Achocalla es principalmente sódica – potásica, caso contrario a la de este estudio que presenta un carácter significativo de dióxido de titanio que favorece la realización de la fotocatalisis con el agua residual.

El suelo analizado indicó la presencia de diversos materiales edáficos como raíces en la superficie y humedad, a medida que avanzaban las perforaciones la existencia de arenosa gruesa, arcilla arenosa, piedra pómez, ceniza volcánica con variaciones de color aportando diversidad y el carácter apropiado para el tratamiento de agua residual.

#### **4.3. Evaluación de la desinfección del agua tratada**

Se obtuvieron los datos de la estación meteorológica de la UTN ubicada en la terraza de la facultad FICA de 9 am a 3 pm obteniendo una media que fue la base para la toma de las muestras establecida a las 12:00 horas donde había mayor incidencia de la radiación solar (Tabla 16).

**Tabla 16.** Media de radiación solar

<b>AGUA</b>	<b>Radiación</b>
<b>FECHA</b>	<b>W/m2</b>
27/5/2019	280.81
28/5/2019	430.15
29/5/2019	845.09
30/5/2019	861.62
31/5/2019	864.15
1/6/2019	798.46
2/6/2019	833.46
3/6/2019	362.55
4/6/2019	741.81
5/6/2019	321.54
6/6/2019	863.5
7/6/2019	641.84
8/6/2019	190.6
9/6/2019	711.18
10/6/2019	519.97
11/6/2019	510.37
12/6/2019	548.08
13/6/2019	377.26
14/6/2019	433.68
15/6/2019	566.35
16/6/2019	718.43

A continuación, se presentan los resultados en primer lugar se muestra la consistencia interna de los instrumentos, posteriormente los datos descriptivos, prueba de normalidad, medianas por último la prueba de hipótesis.

Para realizar la identificación de los microorganismos se sembraron por dilución y aislamiento en chromocult e incubaron a 37 °C por 24 horas. De esta forma las bacterias recuperadas y aisladas se llevaron para su confirmación entre fecales y totales (Figura 7).



**Figura 8.** Cepas de microorganismos

Los datos obtenidos después de la metodología de laboratorio pudieron determinar la baja de coliformes fecales y totales diariamente de una manera significativamente exponencial, la muestra 1 es con influencia de óxido de titanio, la muestra 2 sin presencia de óxido de titanio y la muestra 3 es el testigo están expresados los datos en ml / cm<sup>3</sup> (Tabla 17).

**Tabla 17.** Resultado de conteo de coliformes totales y fecales y media de radiación solar

FECHA	M1		M2		M3		Radiación W/m2
	COLI TOTAL	<i>E.</i> <i>COLI</i>	COLI TOTAL	<i>E.</i> <i>COLI</i>	COLI TOTAL	<i>E.</i> <i>COLI</i>	
27/5/2019	840000	300000	1024000	320000	1100000	340000	280.81
28/5/2019	795200	284000	992000	310000	1112000	360000	430.15
29/5/2019	784000	280000	896000	280000	1200000	390000	845.09
30/5/2019	761600	272000	960000	300000	1110500	320000	861.62
31/5/2019	744800	266000	998400	312000	1150000	340000	864.15
1/6/2019	700000	250000	970400	320000	1111500	370000	798.46
2/6/2019	728000	260000	960000	300000	1114000	340000	833.46
3/6/2019	686000	245000	896000	280000	1110500	365000	362.55
4/6/2019	660800	236000	896000	280000	1108500	340000	741.81
5/6/2019	616000	220000	736000	230000	1200000	386000	321.54
6/6/2019	610400	218000	864000	270000	1280000	330500	863.5
7/6/2019	602000	215000	800000	250000	1100000	310000	641.84
8/6/2019	604800	216000	704000	220000	1160000	340000	190.6
9/6/2019	616000	220000	736000	230000	1100000	390000	711.18
10/6/2019	588000	210000	755200	236000	1230000	356000	519.97
11/6/2019	582400	208000	768000	240000	1120000	320000	510.37
12/6/2019	560000	206000	640000	220000	1100000	380000	548.08
13/6/2019	580000	203000	704000	210000	1150000	350000	377.26
14/6/2019	575000	200000	701000	200000	1100000	340000	433.68
15/6/2019	570000	195000	700000	199000	1100000	340000	566.35
16/6/2019	565300	194600	699000	198000	1160000	340000	718.43

Antes de analizar los datos, fue importante saber si los datos seguían una distribución normal o no. Por lo que se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk mediante el paquete estadístico SPSS (Tabla 18).

**Tabla 18.** Datos paramétricos y no paramétricos

Variable	n	Media	D.E.	W*	Unilateral
M1 COLI TOTAL	21	655728.57	87956.86	0.85	0.007
M1 E. COLI	21	233266.67	32438.45	0.87	0.0244
M2 COLI TOTAL	21	828571.43	123793.56	0.87	0.0181
M2 E. COLI	21	257380.95	42720.58	0.87	0.0201
M3 COLI TOTAL	21	1138904.76	50437.99	0.77	<0.0001
M3 E. COLI	21	349880.95	23169.97	0.9	0.0875

Dichos datos no se distribuyeron normalmente según la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tanto, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis con un  $\alpha=0.05$ , obteniendo un p valor 0.00001, es el Tratamiento 1 que corresponde a la aplicación de Oxido de Titanio (Tabla 19).

**Tabla 19.** Prueba de normalidad

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Coliformes	1	21	655728.57	87956.86	616000	48,78	<0.0001
Coliformes	2	21	828571.43	123793.56	800000		
Coliformes	3	21	1138904.76	50437.99	1112000		

Se realizó el análisis mediante la hipótesis de doble cola el cual acepta una hipótesis y rechaza la otra;  $H_0$ = El proceso de fotocátalisis heterogénea con oxido de titanio implementado en aguas residuales domesticas realiza una desinfección de coliformes y la  $H_a$ : La aplicación de óxido de titanio reduce de forma similar coliformes que tratamientos que no contienen oxido de Titanio.

Se aceptó la hipótesis nula; el proceso de fotocátalisis heterogénea con oxido de titanio implementado en aguas residuales domesticas realiza una desinfección de coliformes determinado con el análisis de homogeneidad de varianza y la prueba

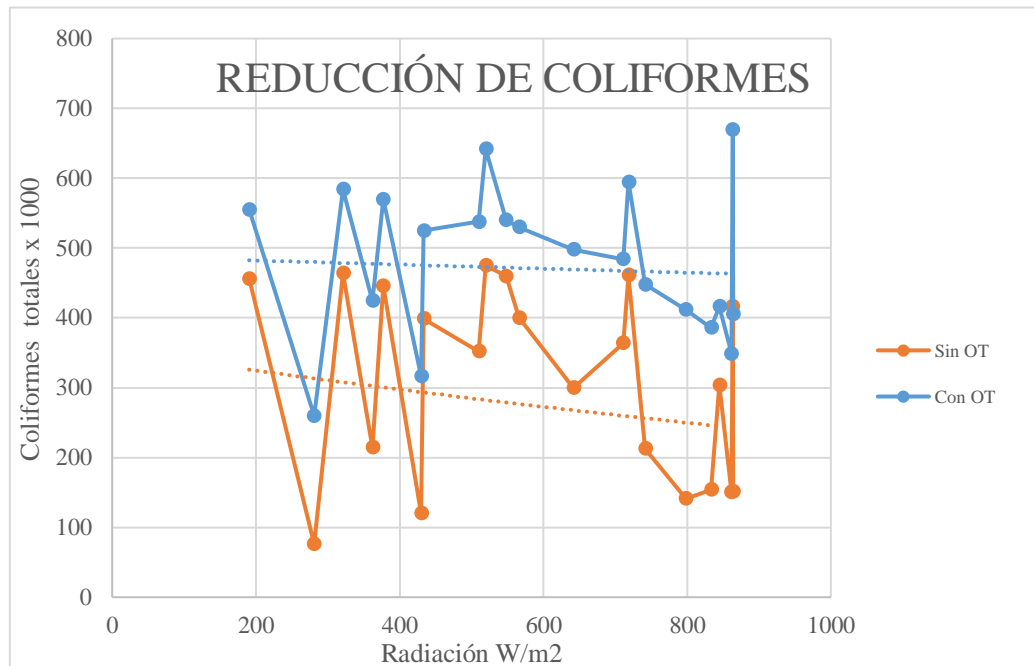
no paramétrica del análisis de doble cola (Tabla 20).

**Tabla 20.** Análisis de homogeneidad de varianza

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	n (1)	n (2)	Var (1)	Var (2)	F	p	Prueba
Microorganismos	{1.00}	{2.00}	21	21	11552 0.72	19046 0.76	0.61	0.272	Bilateral

Clasificación	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n (1)	n (2)	Media (1)	Media (2)	DE(1)	DE(2)	Mediana (1)	Mediana (2)	W	p(2 colas)
Microor- Tratamientos	ganismos	1	2	21	21	4830.18	3100.33	1070.48	1380.01	498	352	5960.5	3

Adicionalmente, se construyó un gráfico para remarcar la relación inversamente proporcional entre los coliformes y la radiación solar, es decir cuánto influye la radiación solar con el óxido de titanio (Figura 8).



**Figura 9.** Relación de la radiación solar con influencia de óxido de titanio y sin óxido de titanio

Los resultados respecto a la calidad microbiana del agua residual de la planta de tratamiento presentan contaminación microbiana, Con los datos obtenidos de las 3 muestras dieron como resultado la reducción considerable de coliformes fecales y



totales en un 70% esto fue comprobado estadísticamente con la prueba de Shapiro-Wilk el cual acepta la  $H_0$  donde reduce de forma diferente la cantidad de coliformes fecales y totales luego se realizó el diseño de Kruskal Wallis el cual determina que el Tratamiento 1 que corresponde a la aplicación de Oxido de Titanio realiza la desinfección de coliformes fecales y totales.

Sin embargo, en el caso de Bartolomé et al. (2017), quien considera que para el tratamiento de remediación de las aguas residuales de por fotocátalisis heterogénea con  $TiO_2$ , es necesario conocer la cantidad de radiación solar en la zona de estudio, al ser la radiación la fuente de energía que activa al fotocatalizador  $TiO_2$ , resulta favorable para remover cromo total, disminuye en alto porcentaje la concentración del parámetro en estudio, en un periodo corto de tiempo, siempre que exista radiación solar necesaria para la activación del catalizador, esto queda demostrado en las prácticas experimentales de tratamiento fotocatalítico heterogéneo. Además, Garcés G. y Peñuela G. (2004), constata que con una cantidad de dióxido de titanio y una concentración de peróxido de hidrogeno adecuados, se puede obtener muy buenos porcentajes de degradación de coliformes fecales y totales.

A diferencia de Sanabria et al. (2010), dice que se encontró que cuando el tratamiento es incompleto, las células viables que habían perdido su cultivabilidad pueden recuperar todas sus funciones fisiológicas, cuando son transferidas a un nuevo medio nutritivo. En este estudio, la desinfección de aguas residuales permite tener un mayor éxito en la ejecución del proyecto, debido a que se consideró como principal punto lo económico, en el que toma en cuenta la rentabilidad y viabilidad de culminar el proyecto de investigación y como consiguiente tener éxito en la desinfección de las aguas beneficiando a la sociedad.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Con base en los resultados obtenidos, es posible concluir que las tecnologías de fotocátalisis solar pueden proporcionar una poderosa herramienta para destruir desechos perjudiciales para el ambiente, es decir, disminuir la alta carga orgánica bajando la DQO y la DBO de los efluentes, haciendo uso de la energía limpia, como lo es la energía solar que llega a la superficie de la tierra para provocar una serie de reacciones químicas que dan lugar a la eliminación de compuestos químicos, físicos y biológicos en las aguas residuales.
- La evaluación del sistema de desinfección solar indica que no hubo ausencia de coliformes por la pasteurización, puesto que la temperatura ambiente de la zona no fue suficiente para elevar la temperatura del agua en el sistema, lo que indica que la desinfección se logró por la fotocátalisis heterogénea
- Se determinó la influencia que tiene la concentración del catalizador es decir la arcilla que contiene el óxido de titanio en un 0.66 % sobre la velocidad de reacción de degradación de coliformes fecales y totales. La tendencia mostrada por los resultados es que a mayor concentración de  $\text{TiO}_2$ , mayor es la velocidad del proceso. Es claro que la concentración del  $\text{TiO}_2$ , que indudablemente es el reactivo limitante del proceso fotocatalítico, es un tópicos que debe ser considerado con mucha precisión si se desea obtener mejores resultados.
- Los requerimientos para el proceso de fotocátalisis incluyeron análisis de laboratorio para la determinación de los números de coliformes totales y fecales de las muestras, los resultados demostraron que mediante la radiación solar y el catalizador  $\text{TiO}_2$  se da el efecto de reducción máxima de coliformes fecales y totales como hace referencia la muestra 1.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar una investigación donde los resultados obtenidos en la eliminación de coliformes se puedan profundizar en época lluviosa.
- Realizar una investigación con mayor precisión mediante la medición de la radiación global en el sitio, diferentes tipos de muestreo, y otro sistema captador de energía solar.
- El proceso de desinfección fotocatalítica debe realizarse por lo menos en 21 días para que exista eficiencia en la investigación.

## REFERENCIAS

- Arana, P. (2010). Biofiltro Edificio de Tamices de la EDAR de Arazuri: Estudio y propuesta de mejoras. Trabajo de Grado, Universidad de Navarra, Navarra, Iralia.
- Arias, T., Peralta, V., Diana, D., Delgado, E., Márquez, F., Martínez, M. y Bareiro, C. (2016). Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico. *Ambiente & Agua*, 11(3), 548-565.
- Ávila-Zárraga, José Gustavo. (2009). Síntesis fotoquímica mediante luz solar. *Educación química*, 20(4), 426-432.
- Bier, O. (1982). Bacteriología e Inmunología. 22a edição. Editora Melhoramento.
- Canut, A. y Pascual, A. (2007). Impacto ambiental de las operaciones de limpieza y desinfección de depósitos en la industria vinícola y mejoras ambientales a través del uso de ozono como agente desinfectante. *Bulletin de l'OIV*, 80(917-19), 497-509.
- Casierra, H., Casalins, J., Vargas, X. y Caselles, A. (2016). Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(4), 97-111.
- 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. *Información tecnológica*, 20(6), 29-36.
- Carrillo, E. y Lozano, A. (2008). Validación del método de desinfección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. (Trabajo de Graduación). Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia.
- Chupina de León, A. M. (2006). Estudio comparativo entre las técnicas más utilizadas para la caracterización de arcillas y su aplicación industrial en la

fabricación de ladrillos. [Trabajo de Graduación]. Guatemala: Universidad de San Carlos.

Dávalos, M. G. (2015). Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental (TULAS) (Bachelor's thesis, Quito, 2015).

Ecuador, O. P. S. (2007). La equidad en la mira: la salud pública del Ecuador durante las últimas décadas.

Fasulo, A. (2009). Meteorología. Universidad Nacional de San Luis. Argentina Ed.UNISI. Argentina.

Garcés, Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A. y Santamaría Arango, J. J. (2002). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

Garcés, L., Mejía, E. y Santamaría, J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*. 1(1). 83-92

Garzón, J., Rodríguez, J. y Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Rev Univ. Salud*.19(2):309-318

Guimarães, J. R. y Nour, E. A. A. (2001). Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, 1, 19-30.

Hagedorn, C., Blanch, A. R., & Harwood, V. J. (Eds.). (2011). *Microbial source tracking: methods, applications, and case studies*. Springer Science & Business Media.

Hammer MJ, Hammer Jr. MJ (2001) *Water and wastewater technology*. Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA. 536p.

Hayes, P. R. y Sanz Pérez, B. (1993). *Microbiología e higiene de los alimentos*.

- Hernández-Salazar, A. B., Moreno-Seceña, J. C. y Sandoval-Herazo, L. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), 75-87.
- Lozano-Rivas, William Antonio. (2012). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Maldonado, M. I. (2001). Descontaminación de aguas de lavado de envases de plaguicidas mediante fotocátalisis solar (Doctoral dissertation, Universidad de Almería).
- Mozo Cáliz, B. (2012). Instalación de biofiltro en la EDAR" Guadalete" de Jerez de la Frontera para la desodorización de gases.
- Nollet, L. M. y De Gelder, L. S. (Eds.). (2000). Handbook of water analysis. CRC press.
- Méndez, J. B. J., Aneiros-Riba, R. y Salas-Perea, R. S. (1993). V-<sup>U</sup> UBA: Recursos humanos en la atención primaria de salud y su estrategia de desarrollo. *Mica Sak*, 27(2), 145.
- Miranda, M., Aramburú, A., Junco, J. y Campos, M. (2010). Situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú, 2007-2010. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 27, 506-511.
- Peeters, S. J. M. y Wilson, J. R. (2008). Sudbury Neutrino Observatory. In *Neutrino Oscillations: Present Status and Future Plans* (pp. 45-69).
- Perry, J. D. y Freydiere, A. M. (2007). The application of chromogenic media in clinical microbiology. *Journal of applied microbiology*, 103(6), 2046-2055.
- Porras, B. (2007). Impacto ambiental de las operaciones de limpieza y desinfección de depósitos en la industria vinícola y mejoras ambientales a

través del uso de ozono como agente desinfectante. Bulletin de l'OIV, 80(917-19), 497-509.

Quintero, A., Vargas, C. y Sanabria, J. (2018). Evaluación de un sistema de fotocatalisis heterogénea y pasteurización para desinfección de aguas lluvias. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 28, (1).

Rincón, A y Pulgarin, C. (2017). Solar Photolytic and disinfection of Water at Laboratory and Field Scale. Effect of the Chemical Composition of Water and Study of the Postirradiation Events. Journal of Solar Energy Engineering, 129, 100.

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.

Rubiano, C. M., Laguna, W. A., Zapata, C. E. y Marín Sepúlveda, J. M. (2005). Estudio sobre las posibilidades de aplicación de la fotocatalisis heterogénea a los procesos de remoción de fenoles en medio acuoso.

Sagastume, J. M., Revah Moiseev, S. y Noyola Robles, A. (2000). Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos. Recuperado de «[www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon)».

Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD (2003) Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th Edition. McGraw-Hill. Metcalf & Eddy, Inc. New York, USA. 1819p.

Tzelepi, E., Giakkoupi, P., Sofianou, D., Loukova, V., Kemeroglou, A. y Tsakris, A. (2000). Detection of Extended-Spectrum  $\beta$ -Lactamases in Clinical Isolates of *Enterobacter cloacae* and *Enterobacter aerogenes*. *Journal of clinical microbiology*, 38(2), 542-546.

- UNESCO. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales. El recurso desaprovechado. Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura, 1–202.
- USEPA, O. (1999). Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. US Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Valdez, E. y Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, Fundación ICA, AC.
- Valencia López, A. E. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis).
- Vergara, A., Lara, L., Alarcón, N. y Aroca, G. (2003). Biofiltración de aire contaminado con hidrocarburos volátiles. Pp12. In *AIDIS. Aire, tierra y agua tarea de todos Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Concepción, Chile Octubre* (pp. 1-3).
- Vidal, A., Malato, S., & Blanco, J. (2002). Procesos solares fotocatalíticos en el tratamiento de efluentes. *Ingeniería química-Madrid*, 34(386), 106-116.
- Vítěz T, Ševčíková J, Opeletová P (2012) Evaluation of the efficiency of selected wastewater treatment plant. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 40: 173-180.
- Voelker, T. A. y Davies, H. M. (1994). Alteration of the specificity and regulation of fatty acid synthesis of *Escherichia coli* by expression of a plant medium-chain acyl-acyl carrier protein thioesterase. *Journal of bacteriology*, 176(23), 7320-7327.
- White, G. C. (1986). The handbook of chlorination (pp. 349-451). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Winn, W. C. y Koneman, E. W. (2008). Koneman diagnóstico microbiológico:




texto y atlas color. Médica Panamericana.

## ANEXOS

### Anexo 1: Reportes de análisis

#### Anexo 1.1: Muestra 1

	<b>LABORATORIO EMAPA-I</b>
<b>INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUAL</b>	<b>FMC2808-01</b>
Informe de Ensayo Nro: IERE-18-082	Pág. 1 de 1
<b>Cliente:</b> <b>Dirección:</b> <b>Fecha de recepción:</b> 25 de Octubre del 2019 <b>Identificación muestra:</b> Muestra #1 - P.aerobia <small>25/10/2019 -</small>	
<b>Fecha de emisión:</b> 31 de Octubre del 2019	
<b>31/10/2019</b> <b>encayos:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Residual <b>Cod. Lab:</b> MER18-101	

#### REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO

PARÁMETRO	Unidad	MUESTRA	Valores de Referencia <sup>1</sup>	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	112,1 0		SM 2540D

#### REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

PARÁMETRO	Unidad	MUESTRA	Valores de Referencia <sup>1</sup>	Método del Ensayo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	192,0	-	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )**	mg/l	70,0	-	SM 5210
Nitros (NO <sub>2</sub> -N)**	mg/l	5,20	-	Método HACH 8039
Fosforo Total	mg/l	3,2	-	Método HACH 8048 x el factor
Nitrógeno Total	mg/l	57,0	-	HACH 10072
Fosfatos (PO <sub>4</sub> -P)**	mg/l	9,8	-	Método HACH 8048

Incertidumbre del Método					
Incertidumbre del Método (K=2)				Condiciones Ambientales	
Parámetro	Unidades	Nivel	Valor	Temperat. °C	Humedad.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	25	EP*	E	E
		75	EP*	E	E
		100	EP*	E	E

EP: En proceso de determinación

\*Observaciones:

\* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación. Los ensayos marcados \*\* no están dentro del alcance de acreditación.

El Laboratorio EMAPA-I se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

<sup>1</sup> Valores de referencia tomados de la tabla: TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA. TULSMA 2015.

  
 Bq. Carla Valarezo  
**JEFE DE**



## Anexo 1.2: Muestra 2



LABORATORIO EMAPA-I

<b>INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUAL</b>		<b>FMC2308-01</b>
Informe de Ensayo Nro: IERE-18-093		Pág. 1 de 1
<b>Cliente:</b> <b>Dirección:</b> <b>Fecha de recepción:</b> 25 de Octubre del 2018 <b>Identificación muestra:</b> Muestra #2 <small>como un residuo comunal</small> 25/10/2018 - 31/10/2018		
<b>encayos:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Residual <b>Cod. Lab:</b> MER18-102		<b>Fecha de emisión:</b> 31 de Octubre del 2018

### REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETRO	Unidades	MUESTRA	Valores de Referencia <sup>1</sup>	Método del Ensayo
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	140,50		SM 2540D

### REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICOS

PARÁMETRO	Unidades	MUESTRA	Valores de Referencia <sup>1</sup>	Método del Ensayo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	275,0	-	PEE-EMAPA-I-003 (Método HACH 8000)
Nitratos (NO <sub>3</sub> )**	mg/l	4,70	-	Método HACH 8039
Fosforo Total	mg/l	3,9	-	Método HACH 8048 x el factor
Nitrógeno Total	mg/l	60,0	-	HACH 10072
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )**	mg/l	11,9	-	Método HACH 8048

Incertidumbre del Método					
Incertidumbre del Método (K=2)				Condiciones Ambientales	
Parámetro	Unidades	Nivel	Valor	Temperat. °C	Humedad.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	25	EP	E	E
		50	EP	P	P
		75	EP	E	E
		100	EP	P	P

En proceso de determinación

**\*Observaciones:** El límite máximo permisible que se indica en la tabla corresponde a Nitrogeno Total Kjeldahl.

<sup>1</sup> Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación. Los ensayos marcados \*\* no están dentro del alcance de acreditación.

El Laboratorio EMAPA-I se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

<sup>2</sup> Valores de referencia tomados de la tabla: TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA. TULSMA 2015.

Bq. Carla Valarezo  
JEFE DE LABORATORIO



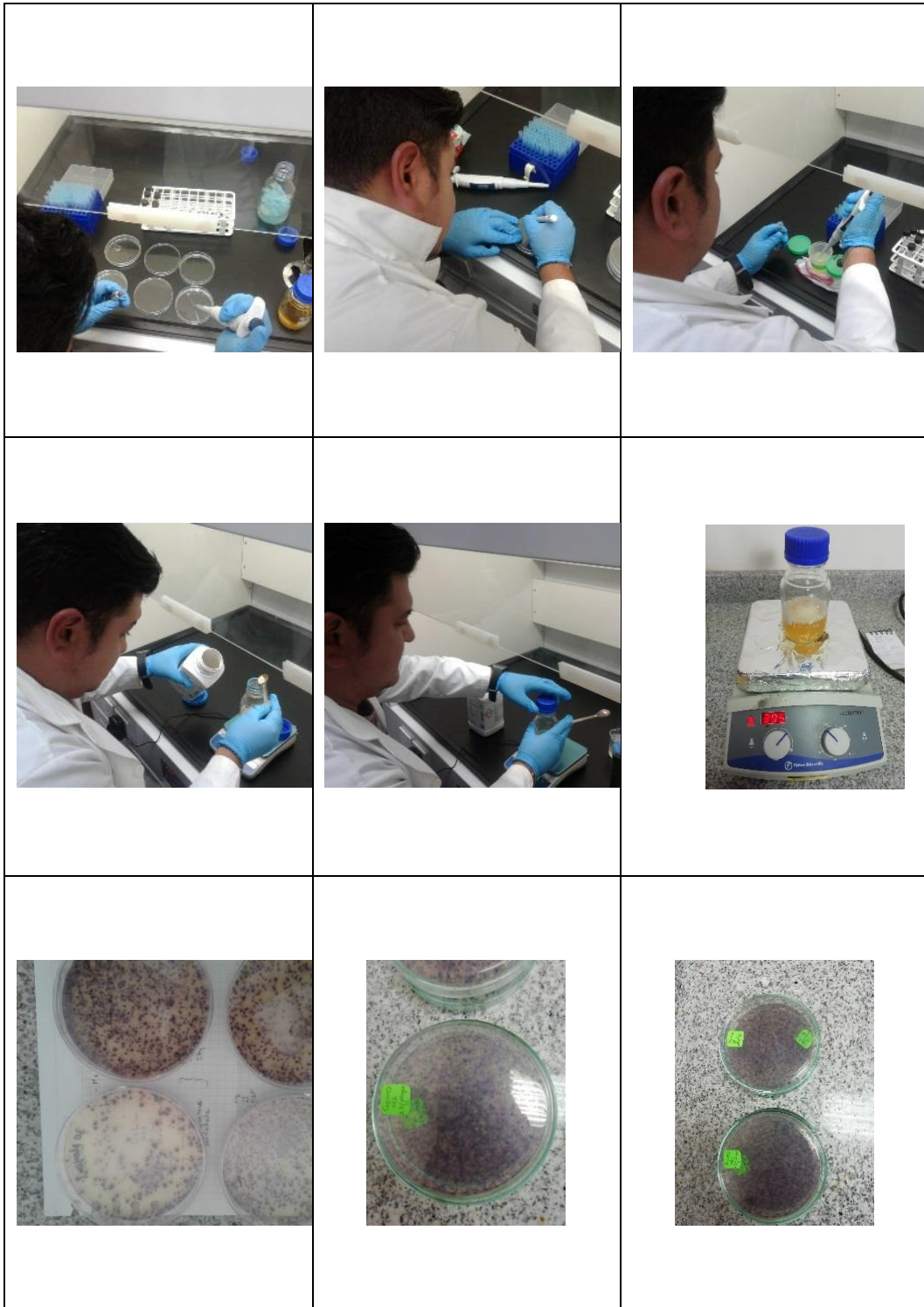
Revisado R.T.

## Anexo 2: Registro fotográfico

### Anexo 2.1: Fase de campo



## Anexo 2.2: Fase de laboratorio



### Anexo 2.3: Caja de máquinas y fosas de captación de agua residual

