



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CARRERA INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

**“DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS  
POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE  
DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniera en Medio Ambiente.

**Autor:**

Romero Castillo Génesis Marbely.

**Tutor:**

Mg. José Luis Agreda Oña.

**Latacunga – Ecuador**

**Septiembre 2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **GÉNESIS MARBELY ROMERO CASTILLO**, con cedula de ciudadanía N. **210042772-9**, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”**, siendo el **MG. JOSÉ LUIS AGREDA OÑA** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 16 de octubre del 2020.



.....  
**Génesis Marbely Romero Castillo**

**C.C.: 210042772-9**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Romero Castillo Génesis Marbely**, identificada/o con C.C. N° **210042772-9**, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**Diseño de un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos por el efecto foto Fenton en muestras de aguas de zonas de descarga del Río Cutuchi, Provincia de Cotopaxi periodo 2019-2020**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

### **Historial académico. -**

Fecha de inicio de carrera: Abril 2015 – Agosto 2015

Fecha de finalización de carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de Julio 2020

Tutor.- Mg. José Luis Agreda Oña

Tema: “Diseño de un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos por el efecto foto Fenton en muestras de aguas de zonas de descarga del Río Cutuchi, Provincia de Cotopaxi periodo 2019-2020”.

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como

requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de octubre del 2020.



.....  
Génesis Marbely Romero Castillo

**LA CEDENTE**

.....  
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”,**

de Génesis Marbely Romero Castillo, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 16 de octubre del 2020



.....  
**Mg. José Luis Agreda Oña**

**TUTOR DEL PROYECTO.**

C.I. 040133210-1

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACION**

En calidad de tribunal de lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Romero Castillo Génesis Marbely, con el título del Proyecto de Investigación: “DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 16 de octubre del 2020.



---

Mg. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**  
CC: 050218845-1

---

PhD. Vicente de la Dolorosa Córdova Yanchapanta  
**LECTOR 2**  
CC: 180163492-2



---

Mg, Mercy Lucila Ilbay Yupa  
**LECTOR 3**  
CC: 060414790-0

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradezco a Dios por colmarme de bendiciones, llenarme de conocimiento y sabiduría para poder alcanzar el objetivo trazado hace 5 años, el cual era obtener mi título universitario.

A mis padres Manuel y Susana sobre todo a mi hijo Israel quienes son el pilar fundamental en mi vida, a mis hermanos Rosa y Diego los cuales me motivan a seguir adelante, a mi cuñado Patricio que ha estado apoyándome en los momentos difíciles a mi pareja Néstor a mi incondicional amigo Miguel que desde que llegue a la Universidad ha sido como un hermano, gracias por brindarme todo su cariño y apoyo.

También un agradecimiento especial a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus docentes y autoridades ya que a lo largo de mi formación académica pude obtener los mejores conocimientos científicos, éticos y profesionales de su parte.

**Génesis Marbely Romero Castillo**



## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de investigación está dedicado al esfuerzo de mis padres Manuel y Susana, los mismos que cada día me han inculcado valores de esfuerzo, dedicación y superación para alcanzar las metas trazadas a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Rosa y Diego que vea que su niña por fin cumplió sus sueños de ser una profesional al cual todo este tiempo me estuvieron apoyando, también a mi cuñado Patricio quien con su apoyo incondicional han hecho que este sueño se vuelva realidad, también quiero dedicar este proyecto a mi adorado hijo Israel que es mi principal inspiración y mis sobrinos Jhurlady y Jhonayker quienes quiero que vean que en esta vida todo sacrificio y esfuerzo tiene su recompensa y que todo es posible, por más dura que se nos ponga a veces.

También quiero dedicar a mi querido Abuelito Javier Darío Castillo Avalos quien falleció durante mi elaboración de la tesis pero que siempre estuvo pendiente de mi proceso en la universidad y se alegraba cada vez que le decía que pasaba cada ciclo académico y cuando sabía que ya estaba en la etapa final se puso muy contento de saber que su nieta cumplía un sueño más y sé que desde el cielo te sentirás orgulloso de tu nieta.

**Génesis Marbely Romero Castillo**

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TITULO:** “DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”

**AUTOR:** Romero Castillo Génesis Marbely.

**RESUMEN**

La escases del agua, de calidad es un problema a nivel mundial que va aumentando a causa de la contaminación que este atraviesa. Por ello la depuración y la reutilización de las aguas contaminadas son cada vez más necesarias.

La emisión de los denominados contaminantes emergentes (CEs), presenta una gran importancia y son muchas las organizaciones que intentan aportar soluciones al problema. Los CEs son micro contaminantes generalmente de tipo orgánico, que en su mayor parte no están regulados y que son el principal objetivo de la legislación actual por causar un impacto ambiental considerable. Para su eliminación, es necesario utilizar tratamientos como son los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), ya que presentan la capacidad de generar especies muy oxidantes, como son los radicales hidroxilos, y que actúan para lograr la degradación total o parcial de compuestos muy resistentes a los métodos convencionales (EDAR).

Se ha demostrado que el tratamiento foto-Fenton en condiciones de pH óptimas es capaz de eliminar estos contaminantes de las aguas generando un efluente no tóxico para los fangos activos, por lo que es factible un acoplamiento del tratamiento con un sistema de depuración biológico; además de ha comprobado que existe un ahorro económico y beneficio medioambiental si las aguas contaminadas son previamente sometidas a un tratamiento adecuado previo a su vertido a la EDAR.

**Palabras claves:** agua residual, biodegradación, contaminación hídrica, foto Fenton, procesos de oxidación avanzada.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES DEPARTMENT**

**TOPIC:“DESIGN OF A MODEL OF TREATMENT OF ORGANIC CONTAMINANTS BY THE PHOTO FENTON EFFECT IN WATER SAMPLES FROM CUTUCHI RIVER DISCHARGE ZONES, COTOPAXI PROVINCE PERIOD 2019-2020”**

**AUTHOR:** Genesis Marbely Romero Castillo

**ABSTRACT**

The shortage of quality water is a worldwide problem that is increasing due to the pollution. For this reason, the treatment and reuse of polluted water is becoming necessary.

The emission of contaminants of emerging concern (CECs) is of great importance and many organizations are trying to find solutions for this problem. CECs are mostly organic micro pollutant agents that are not regulated by law and, nowadays, are the main target of the legislation because of their important environmental impact. The Advanced Oxidation Processes (AOPs) are the necessary methods for their elimination. They present a high capacity to generate reactive oxygen species, such as hydroxyl radicals, and achieve the total or partial decomposition of components that are very resistant to the conventional methods (Waste Water Treatment Station, WWTS).

The Photo-Fenton treatment, in optimal pH conditions, has been demonstrated to be capable of eliminating these pollutants of the sewage. This treatment generates an effluent that is non-toxic for the activated sludge; therefore, it is possible to complement the treatment with a biological purifying system. Moreover, economic saving has been proved and also an environmental benefit, if the polluted water goes through convenient treatment before pouring it in the WWTS.

**Keywords:** waste water, biodegradation, water pollution, photo Fenton, advanced oxidation processes.



## INDICE

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....                                                          | ii   |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....                             | iii  |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....                                    | vi   |
| AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACION .....                              | vii  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                                                 | viii |
| DEDICATORIA .....                                                                     | ix   |
| RESUMEN.....                                                                          | x    |
| ABSTRACT .....                                                                        | xi   |
| 2. INTRODUCCIÓN.....                                                                  | 4    |
| 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....                                                   | 5    |
| 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....                                                   | 7    |
| 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....                                                 | 7    |
| 6. OBJETIVOS:.....                                                                    | 8    |
| 6.1. General.....                                                                     | 8    |
| 6.2. Específicos.....                                                                 | 8    |
| 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS<br>PLANTEADOS. ....    | 9    |
| 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....                                            | 10   |
| 8.1. Residuos líquidos.....                                                           | 10   |
| 8.1.1. Contaminación por residuos líquidos.....                                       | 10   |
| 8.1.2. Impactos ambientales.....                                                      | 11   |
| 8.2. Calidad del agua.....                                                            | 12   |
| 8.2.1. Contaminantes del agua.....                                                    | 13   |
| 8.2.2. Índice de la calidad del agua (ICA). ....                                      | 15   |
| 8.2.3. Estimación del índice de calidad del agua.....                                 | 16   |
| 8.3. Foto-Fenton.....                                                                 | 17   |
| 8.3.1. Antecedentes. ....                                                             | 17   |
| 8.3.2. Eficiencia y escalado del proceso. ....                                        | 18   |
| 8.3.3. Comparación del proceso Fenton con otros procesos avanzados de oxidación. .... | 19   |
| 8.4. Proceso de oxidación avanzada.....                                               | 20   |
| 8.4.1. Proceso Fenton y Foto-Fenton.....                                              | 22   |
| 8.4.2. Catalizadores para el proceso Fenton y Foto-Fenton. ....                       | 22   |

|         |                                                                                                                                                                                          |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.4.3.  | Nanotubos de carbono. ....                                                                                                                                                               | 22 |
| 8.5.    | Marco legal. ....                                                                                                                                                                        | 23 |
| 8.6.    | Descripción de línea base ambiental. ....                                                                                                                                                | 24 |
| 8.6.1.  | Medio físico. ....                                                                                                                                                                       | 24 |
| 8.6.2.  | Medio socioeconómico y cultural. ....                                                                                                                                                    | 26 |
| 9.      | VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA. ....                                                                                                                                               | 26 |
| 10.     | METODOLOGÍA .....                                                                                                                                                                        | 27 |
| 10.1.   | Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton. ....                                      | 27 |
| 10.1.1  | Indagar información sobre normas, exigencias y procedimientos, para aplicar el método de oxidación avanzada (foto Fenton) en un modelo de tratamiento para contaminantes orgánicos. .... | 27 |
| 10.1.2. | Examinar las características para poner en funcionamiento el modelo de tratamiento de contaminantes. ....                                                                                | 27 |
| 10.2.   | Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos. ....                                                                                                     | 27 |
| 10.2.1. | Plantear los pasos para la realización del tratamiento de contaminantes orgánicos. ...                                                                                                   | 27 |
| 10.3.   | Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos. ....                                                                                                        | 27 |
| 10.3.1. | Caracterizar la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos del agua. ....                                                                                                         | 28 |
| 10.3.2. | Determinar el tratamiento que puede ser aplicado para el tratamiento de contaminantes orgánicos. ....                                                                                    | 28 |
| 11.     | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                                                                                                                                                 | 28 |
| 11.1.   | Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton. ....                                      | 28 |
| 11.2.   | Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos. ....                                                                                                     | 29 |
| 11.3.   | Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos. ....                                                                                                        | 31 |
| 12.     | IMPACTOS .....                                                                                                                                                                           | 32 |
| 12.1.   | Ambientales. ....                                                                                                                                                                        | 32 |
| 12.2.   | Económicos. ....                                                                                                                                                                         | 32 |
| 12.3.   | Sociales. ....                                                                                                                                                                           | 33 |
| 13.     | PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....                                                                                                                                       | 33 |
| 14.     | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                                                                                                                                                     | 34 |
| 14.1    | Conclusiones .....                                                                                                                                                                       | 34 |
| 14.2.   | Recomendaciones. ....                                                                                                                                                                    | 34 |
| 15.     | BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                                                                                       | 35 |
| 16.     | ANEXOS .....                                                                                                                                                                             | 38 |

## **ÍNDICE DE TABLAS**

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Beneficiarios directos e indirectos del proyecto.....                                                | 7  |
| <b>Tabla 2</b> Principales fuentes de contaminación por la actividad del ser humano y contaminantes producidos..... | 13 |
| <b>Tabla 3</b> Sustancias contaminantes de la industria y sus efectos.....                                          | 14 |
| <b>Tabla 4</b> Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.....                                                     | 16 |
| <b>Tabla 5</b> Poder oxidante de algunos agentes.....                                                               | 21 |
| <b>Tabla 6</b> Marco legal.....                                                                                     | 23 |
| <b>Tabla 7</b> Registro Histórico de Temperatura .....                                                              | 25 |

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ilustración 1</b> Diagrama de flujo del sistema de la foto reactor. .... | 30 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1</b> Cultivos regados con aguas residuales. .... | 38 |
| <b>Anexo 2</b> Diagrama de flujo. ....                     | 38 |
| <b>Anexo 3</b> Aval del Traductor.....                     | 39 |

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **1.1. Título del Proyecto:**

Diseño de un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos por el efecto foto Fenton en muestras de aguas de zonas de descarga del Río Cutuchi, Provincia de Cotopaxi periodo 2019-2020.

1.2. **Fecha de inicio:** Septiembre- 2019

1.3. **Fecha de finalización:** Septiembre- 2020

1.4. **Lugar de ejecución:** Latacunga-Latacunga-Cotopaxi-zona 3

1.5. **Facultad que auspicia:** Ciencias agropecuarias y recursos naturales

1.6. **Carrera que Auspicia:** Ingeniería en medio ambiente

1.7. **Proyecto de investigación vinculado:** No aplica

### **1.8. Equipo de Trabajo:**

Autor: Marbely Romero.

Tutor de Titulación: Mg. José Luis Agreda Oña.

Lector 1: Mg. Vladimir Ortiz Bustamante

Lector 2: PhD. Vicente Córdova Yanchapanta.

Lector 3: PhD. Mercy Ilbay Yupa.

1.9. **Área de Conocimiento:** Servicios de protección ambiental

1.10. **Línea de investigación:** Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

1.11. **Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Educación ambiental.

Impactos Ambientales.

Calidad Ambiental.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

La escases del agua, de calidad es un problema a nivel mundial que va aumentando a causa de la contaminación que este atraviesa. Por ello la depuración y la reutilización de las aguas contaminadas son cada vez más necesarias.

La emisión de los denominados contaminantes emergentes (CEs), presenta una gran importancia y son muchas las organizaciones que intentan aportar soluciones al problema.



Los CEs son micro contaminantes generalmente de tipo orgánico, que en su mayor parte no están regulados y que son el principal objetivo de la legislación actual por causar un impacto ambiental considerable. Para su eliminación, es necesario utilizar tratamientos como son los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), ya que presentan la capacidad de generar especies muy oxidantes, como son los radicales hidroxilos, y que actúan para lograr la degradación total o parcial de compuestos muy resistentes a los métodos convencionales (EDAR).

Se ha demostrado que el tratamiento foto-Fenton en condiciones de pH óptimas es capaz de eliminar estos contaminantes de las aguas generando un efluente no tóxico para los fangos activos, por lo que es factible un acoplamiento del tratamiento con un sistema de depuración biológico; además de ha comprobado que existe un ahorro económico y beneficio medioambiental si las aguas contaminadas son previamente sometidas a un tratamiento adecuado previo a su vertido a la EDAR

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

En la actualidad, es evidente que existen el vertido de residuos agrícolas, avícolas y pecuarios, las descargas de aguas servidas y otras actividades antrópicas que pueden conducir a la contaminación de las aguas del río Cutuchi, convirtiéndose en un riesgo para la salud de las comunidades asentadas en la rivera del mismo. Estudios hidrológicos de (Rojas, 2008) Han podido determinar los factores que afectan a las cuencas hídricas, y distinguir la influencia de las variaciones naturales de los cambios que producen las actividades antropogénica.

La contaminación del recurso hídrico es uno de los problemas ambientales que aqueja actualmente a la población mundial. Dada la importancia del agua en la sociedad, la presencia de contaminantes se ha descrito como un factor que afecta a nivel social, económico y de salud pública. Según la OMS: “el recurso hídrico se encuentra contaminado cuando su composición se haya alterado de manera que no reúna las condiciones necesarias

para ser utilizada de manera benéfica en el consumo del hombre y de los animales” (OMS, 1995). Se han descrito gran cantidad de compuestos que pueden ser catalogados como contaminantes del agua, la gran mayoría tienen un impacto negativo sobre los ecosistemas acuáticos y sobre la disponibilidad del recurso para su consumo (Espadaler, Okadera, Tsuzuki, & al., 2012). En los contaminantes que afectan el agua, se pueden encontrar los generados por los laboratorios de investigación y docencia, en los cuales están presentes residuos químicos, en concentraciones muy altas, tanto orgánicos como inorgánicos y microorganismos patógenos para el ser humano y animales (Vijayaraghavan K, 2013).

Muchos de los tratamientos convencionales no pueden ser aplicados en el tratamiento de aguas contaminadas, ya que algunos de estos métodos no son capaces de degradarlos completamente y por ende se consideran ineficientes (Gupta VK, 2009). Por esta razón, se han buscado nuevas metodologías aplicadas para el tratamiento de este tipo de efluentes, que sean económicas y efectivas en términos de la disminución de contaminantes orgánicos de manera segura y eficiente.

Dentro de las nuevas metodologías que cumplan con los criterios anteriormente mencionados se ha propuesto la utilización de los procesos de oxidación avanzada (POA), y más específicos los procesos del foto Fenton, en el que se utilizarían como reactivos al peróxido de hidrogeno y sales de Fe para la formación de radicales hidroxilos utilizando un reactor de diseño muy simple según (JC, 2012). La velocidad de formación del radical hidroxilo y por ende de degradación de la materia orgánica y de inactividad de microorganismos, puede incrementarse con la irradiación UV, este método se lo conoce como foto Fenton. (Riga A, 2007).

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1** Beneficiarios directos e indirectos del proyecto.

| Directos.                       |         | Indirectos.                |         |
|---------------------------------|---------|----------------------------|---------|
| Población del cantón Latacunga. |         | Carrera de Ing. Ambiental. |         |
| Hombres                         | Mujeres | Hombres                    | Mujeres |
| 69.598                          | 74.381  | 202                        | 288     |
| <b>Total: 143.979</b>           |         | <b>Total: 490</b>          |         |

**Fuente:** INEC - Censo de Población y Vivienda 2010, secretaria de la Facultad Caren de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Elaborado por:** Romero Castillo Génesis Marbely.

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La contaminación del agua es, sin duda, un grave problema ambiental en todo el mundo que se ha originado por las descargas de contaminantes. El crecimiento demográfico, industrial, el uso de sustancias químicas no biodegradables, la disposición final inadecuada de residuos y desechos peligrosos, el alto consumo de los recursos renovables y no renovables, promueve el deterioro de la calidad del agua, provocando la afectación a las fuentes de aguas superficial y subterránea, esto por la falta de aplicabilidad de las normas ambientales. Muchos países ya están padeciendo la escasez de agua y es probable que tengan que hacer frente a una menor disponibilidad de recursos hídricos superficiales en la década de 2050.

Aunque el sistema Fenton puede ser efectivo en el tratamiento de afluentes derivados de la zona de descargas del río Cutuchi, este proceso presenta inconvenientes ligados fundamentalmente al uso de grandes cantidades de hierro para conseguir altos rendimientos. En este sentido, el proceso foto-Fenton requiere de menores cantidades de catalizador para obtener buenos resultados. Sin embargo, las tecnologías generan fangos y precisan de condiciones ácidas. Estas limitaciones pueden ser superadas mediante la aplicación de los sistemas heterogéneos Fenton y foto-Fenton. Por otro lado, recientes estudios se basan en el empleo de sistemas híbridos en los que se combinan los procesos Fenton y foto-Fenton

con otros (UV/ TiO<sub>2</sub>, ultrasonidos, oxidación electroquímica). El acoplamiento de estos sistemas avanzados de oxidación como pre tratamiento a procesos biológicos convencionales se posiciona como una alternativa económicamente viable para la remoción de contaminantes tóxicos y persistentes. Aunque el sistema Fenton ha mostrado ser efectivo en el tratamiento de afluentes derivados de la industria del petróleo, este proceso presenta inconvenientes ligados fundamentalmente al uso de grandes cantidades de hierro para conseguir altos rendimientos. En este sentido, el proceso foto-Fenton requiere de menores cantidades de catalizador para obtener buenos resultados. Sin embargo, ambas tecnologías generan fangos y precisan de condiciones ácidas. Estas limitaciones pueden ser superadas mediante la aplicación de los sistemas heterogéneos Fenton y foto-Fenton. Por este motivo, el acoplamiento de estos sistemas avanzados de oxidación como pre tratamiento a procesos biológicos convencionales se posiciona como una alternativa económicamente viable para la remoción de contaminantes tóxicos y persistentes.

## **6. OBJETIVOS:**

### **6.1. General**

Diseñar un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton, en muestras de aguas de zonas de descarga del río Cutuchi en el periodo 2019-2020.

### **6.2. Específicos**

- Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton.
- Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos.
- Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos.

**7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.**

| <b>Objetivo General</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Diseñar un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton, en muestras de aguas de zonas de descarga del río Cutuchi en el periodo 2019-2020. |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| <b>Objetivos Específicos</b>                                                                                                                                                    | <b>Actividades</b>                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Resultados</b>                                       |
| Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton                                   | Indagar información sobre normas, exigencias y procedimientos para aplicar el método de oxidación avanzada (foto Fenton) en un modelo de tratamiento para contaminación orgánica. Examinar las características para poner en funcionamiento el modelo de tratamiento de contaminantes. | Reconocer las características del proceso.              |
| Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos.                                                                                                 | Plantear los pasos para la realización del tratamiento de contaminantes orgánicos. Detallar el medio para el procedimiento de los contaminantes.                                                                                                                                       | Conocer las cantidades y como se realiza el proceso.    |
| Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos.                                                                                                    | Caracterizar la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos del agua. Determinar el tratamiento que puede ser aplicado para el tratamiento de contaminantes orgánicos.                                                                                                           | Verificar y comprobar la viabilidad entre dos procesos. |

## **8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **8.1. Residuos líquidos.**

Según: (Cruz J. , 2012), llamamos aguas residuales a las aguas que resultan después de haber sido utilizadas en nuestros domicilios, en las fábricas, en actividades ganaderas, etc.

Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicida y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas. Estas aguas residuales, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles. Todavía existen muchos pueblos y ciudades de nuestro país que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, sin depurarlas. Esta conducta ha provocado que la mayoría de los seres vivos que vivían en esos ríos hayan desaparecido.

#### **8.1.1. Contaminación por residuos líquidos.**

Contaminación domestica: Aguas residuales generadas en asentamientos poblacionales, escuelas, instalaciones turísticas, edificios públicos, centros comerciales e instalaciones sanitarias de las industrias, que se componen fundamentalmente de desperdicios humanos. (J, 2007)

Contaminación industrial: Aguas residuales resultantes de la actividad manufacturera, la industria extractiva y el procesamiento de los productos de la actividad agropecuaria. (Ebbesen, 2001)

Contaminación agropecuaria: Aguas residuales generadas en las instalaciones agropecuarias (centros porcinos, vaquerías, granjas avícolas, producciones agrícolas). (Lessin, s.f.)

Contaminación de viviendas: Combinación de aguas residuales provenientes de residencias, edificios públicos, establecimientos comerciales, sistemas de drenaje pluvial y algunas industrias.

Se caracterizan por su composición física (contenido de sólidos), química (materia orgánica, inorgánica y gases) y biológica (plantas, animales, algas, hongos, protozoos).

Los contaminantes de mayor importancia son: sólidos en suspensión y disueltos, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, organismos patógenos, nutrientes, metales pesados, hidrocarburos y contaminantes orgánicos persistentes.

### **8.1.2. Impactos ambientales.**

Los impactos ambientales de los principales constituyentes de los residuales líquidos se resumen a continuación:

Los altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno en las aguas naturales, como resultado de las descargas de residuales ricos en materia orgánica, llevan al decrecimiento del oxígeno disuelto y al desarrollo de condiciones sépticas, frecuentemente causa la muerte de la biota acuática.

Las grasas y aceites causan problemas en el funcionamiento de las redes de alcantarillado y plantas de tratamiento. Cuando flotan en la superficie de las aguas receptoras interfieren con la aireación natural, pueden ser tóxicas a ciertas especies de peces y de vida acuática, crean peligro de fuego cuando están en suficiente cantidad en el agua, destruyen la vegetación a lo largo de las orillas de los cuerpos receptores y reducen los usos recreativos. La temperatura tiene gran influencia en los procesos químicos y biológicos en las aguas superficiales, especialmente en los niveles de oxígeno, fotosíntesis y producción de algas, así como en la biota acuática, particularmente en los peces.

La acidez del agua, medida como pH, afecta el balance químico y ecológico de los cuerpos receptores y es un factor limitante para ciertos usos del agua.

El exceso de nutrientes puede causar eutrofización en las aguas naturales.

Altas concentraciones de nitratos en el agua para consumo son tóxicas para los niños menores de 6 meses de edad.

Las descargas de residuales líquidos provenientes de asentamientos humanos e instalaciones pecuarias transportan una variedad de organismos patógenos como bacterias, virus, helmintos y protozoos, que son causa de numerosas enfermedades y muertes en los países en desarrollo.

Los efluentes con altas concentraciones de sólidos disueltos crean problemas de incrustación y corrosión en los sistemas de conducción y causan importantes afectaciones si se descargan al alcantarillado público o se reúsan.

Los sólidos suspendidos pueden afectar significativamente el uso del agua, estos limitan la penetración de la luz y la vida útil del reservorio, dañan el hábitat de los bentos al generar condiciones anaerobias en el fondo de los lagos, ríos y mares y afectan la vida acuática, desde el fitoplancton hasta los peces.

Los compuestos orgánicos volátiles liberados a la atmósfera pueden implicar riesgos para la salud pública, conducen a la formación de oxidantes fotoquímicos y pueden afectar la salud de los trabajadores de los sistemas de alcantarillado y de las plantas de tratamiento de residuales líquidos.

El impacto de los residuales industriales, en específico aquel que contienen metales pesados y sustancias químicas orgánicas, es particularmente severo, debido a la persistencia de estos contaminantes, a sus efectos dañinos a bajas concentraciones y a su capacidad para entrar en la cadena alimentaria. (Awadallah, 2012)

## **8.2. Calidad del agua.**

La calidad del agua se define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad ecológica, o como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen, van más allá de evaluar los requerimientos para su uso, aprovechamiento del agua y la conservación de los ecosistemas, ya que el impacto humano ha originado problemas en el control de la calidad del agua, con la utilización de fertilizantes en la agricultura esto puede resultar un exceso de nitrógeno y fosforo en el agua superficial, causando los excedentes llamados nutrientes porque actúan como alimento para las plantas y puede bajar la calidad del agua. (Sohir, 2012)



### 8.2.1. Contaminantes del agua.

La contaminación del agua es la acumulación de sustancias tóxicas y derrame de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) alterando la calidad del agua, causado por propiedades químicas (sustancias disueltas), físicas (variaciones en la temperatura) y biológicas (variaciones en la presencia de seres vivos) del agua, que caracterizan a un curso de agua, que al ser excedidos causan o pueden causar daños a la salud, y al ambiente. (Barraeult, 2014)

#### 8.2.1.1. Fuentes de contaminación.

Las sustancias químicas disueltas en el agua pueden pasar fácilmente desde los ríos a lagos, a acuíferos y al mar, por lo que es muy difícil su control y limpieza cuando han entrado en el ciclo del agua.

**Tabla 2** Principales fuentes de contaminación por la actividad del ser humano y contaminantes producidos.

| <i>Fuentes</i>                       | <i>Contaminantes</i>                                             |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <i>Agricultura</i>                   | Plaguicidas, fertilizantes                                       |
| <i>Aguas residuales industriales</i> | Compuestos químicos, metales pesados, aceites, detergentes, etc. |
| <i>Aguas residuales urbanas</i>      | Materia orgánica, residuos sólidos, detergentes, aceites, etc.   |

**FUENTE:** (Lopez, 2015)

#### a) Contaminación agrícola

Son compuestos utilizados en agricultura en la lucha por la desaparición de plantas y animales perjudiciales para los cultivos (insectos, hongos, malas hierbas) pasan al suelo y pueden ser arrastrados con el agua de lluvia o el agua de riego, y la contaminación alcanzan a ríos, lagos, mares incluso las aguas subterráneas por la fácil absorción del suelo. Son sustancias que producen alteraciones en el equilibrio biológico y se acumulan en los

organismos, provocando su envenenamiento, así mismo, las aguas contaminadas de esta forma ya no pueden ser utilizadas por el ser humano (beber, lavar, regar). (Noskov, 2003)

En el caso de los fertilizantes, como compuestos de nitratos y fosforo, también son arrastrados por el agua, gracias a su movilidad pueden alcanzar los ríos, mares y lagos. Las algas realizan su ciclo de vida vegetal, los fosfatos ayudan a su crecimiento, cuando mueren y se descomponen, consume el oxígeno disuelto del agua, lo que hace que los peces no puedan respirar y mueran. A todo este proceso se denomina eutrofización. Los nitratos son tóxicos, por lo que cuando alcanzan las aguas subterráneas, dejan de ser aptas para el consumo humano. (Baughman, 2002)

**b) Vertidos industriales**

La industria es una enorme fuente de contaminación del agua, producen contaminantes que son extremadamente perjudiciales para las personas y para el medio ambiente. Las aguas industriales son vertidas muchas veces sin depurar a ríos, lagos, mares o directamente sobre el suelo, por lo que los contaminantes que llevan pueden infiltrarse a las aguas subterráneas. Estas sustancias contaminantes (Amianto, Plomo, Mercurio, Nitratos y fosfatos) son muy variadas y sus efectos también. (Callejo, 2005)

**Tabla 3** Sustancias contaminantes de la industria y sus efectos.

| <i>Sustancias contaminantes</i> | <i>Efectos</i>                                                                                                            |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Metales pesados</i>          | (plomo, mercurio, cadmio) Son muy tóxicos y se acumulan en los organismos pudiendo alcanzar al ser humano.                |
| <i>Compuestos químicos</i>      | Producen la extinción de la vida en ríos y mares                                                                          |
| <i>Aceites y espumas</i>        | Se acumulan en la superficie del agua e impiden que los gases atmosféricos y la luz solar entren correctamente en el agua |

**FUENTE:** (Barraeult, 2014)

### **c) Aguas residuales urbanas.**

Este tipo de contaminación se produce cuando las aguas procedentes del alcantarillado de ciudades y pueblos se vierten sin limpiar en río y mares. Las aguas residuales urbanas contienen: materia orgánica y compuestos de nitratos y fosfatos que producen eutrofización de las aguas, residuos sólidos como plásticos que pueden ser ingeridos por animales produciendo su muerte, aceites y espumas producen el mismo efecto que en los vertidos industriales, presencia de organismos procedentes de las heces que pueden producir enfermedades, etc. (Martines, 2007)

### **8.2.2. Índice de la calidad del agua (ICA).**

Es una herramienta que permite diagnosticar el grado de contaminación de un cuerpo de agua. Esta metodología fue desarrollada, por primera vez, por la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF-National Science Foundation) en los Estados Unidos de Norteamérica. A la fecha, el uso del ICA es considerado como una de las herramientas más eficaces para la obtención y comparación de resultados. (Martinez, 2007)

Es utilizado para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo; facilitando la interpretación sobre la calidad de un ambiente cualquiera (como un río) de forma integral y única. (Ghosh, 2010)

El ICA se determinará con nueve parámetros, los cuales son:

- ✓ Coliformes fecales
- ✓ DBO5
- ✓ Fosfato total
- ✓ Nitratos
- ✓ Oxígeno disuelto
- ✓ pH
- ✓ Sólidos totales disueltos
- ✓ Temperatura
- ✓ Turbidez

Para calcular el ICA se realizará mediante una multiplicación ponderada de la calidad del agua la cual corresponderá a cada parámetro evaluado, utilizando las siguientes formulas:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Donde  $q_i$  es la calidad del  $i$ -ésimo parámetro, un número entre 0 e 100, obtenido de la respectiva “curva promedio de variación de calidad”, en función de su concentración o medida.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Donde  $w_i$  es el peso correspondiente al  $i$ -ésimo parámetro, un número entre 0 e 1, atribuido en función de su importancia para la configuración global de calidad. (Melero, 2009)

### 8.2.3. Estimación del índice de calidad del agua.

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

**Tabla 4** Clasificación del “ICA” propuesto por Brown

| CALIDAD DE AGUA | COLOR | VALOR    |
|-----------------|-------|----------|
| Excelente       |       | 91 a 100 |
| Buena           |       | 71 a 100 |
| Regular         |       | 51 a 70  |
| Mala            |       | 26 a 50  |
| Pésima          |       | 0 a 25   |

**Fuente:** (Baughman, 2002)

### **8.3. Foto-Fenton.**

El proceso foto – Fenton es uno de los métodos más estudiado para eliminar contaminantes persistentes de las aguas. Este proceso estudia la posibilidad de utilizar la luz solar como fuente de radiación.

Se trata de un proceso relativamente económico en cuanto a la generación de radicales hidroxilos, esto se debe a que tanto el peróxido de hidrogeno como el hierro, resultan baratos poco agresivos para el medio ambiente y fácilmente manipulables.

#### **8.3.1. Antecedentes.**

El proceso de oxidación Fenton fue descrito por primera vez en 1894 por Henry J. Fenton, cuando descubrió que el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) podía activarse con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico (Pignatello, 2006). Este proceso consiste en la adición de sales de hierro en presencia de  $H_2O_2$ , en medio ácido, para la formación de radicales  $^{\circ}OH$ . A la combinación de  $H_2O_2$  y sales de hierro se denomina reactivo Fenton (Cruz D. d., 2015) Se ha observado que la degradación de contaminantes orgánicos con la reacción Fenton aumenta cuando el sistema es irradiado con radiación UV. Este factor adicional en la reacción aprovecha el espectro de longitudes de onda mayores a 300 nm hasta 600 nm. La fotólisis de los complejos de  $Fe^{+3}$  que se formaron en la reacción de Fenton en oscuridad (por ejemplo en forma de  $Fe(OH)^{+2}$ ), hace que se regenere el  $Fe^{+3}$  a  $Fe^{+2}$  logrando que este siga reaccionando con los radicales hidroxilo existentes, o los que se adicionaron al agregar nuevas porciones de  $H_2O_2$  al sistema, continuando así la reacción de oxidación (Garcia, 2015).

Con la regeneración del  $Fe^{+2}$  y los radicales  $\bullet OH$  producidos, estos últimos reaccionan con las moléculas orgánicas, formando los radicales orgánicos  $RH\bullet$  (7). La concentración de iones ferrosos afecta directamente la concentración de radicales hidroxilos producida, debido a que un ion  $Fe^{+2}$  produce un radical hidroxilo. Las concentraciones de  $Fe^{+2}$  y de  $H_2O_2$  que se utilizan dentro del proceso no pueden ser al azar, debido a que una gran cantidad de hierro en el sistema provoca turbidez y por lo tanto impide el paso de la radiación UV necesaria para la fotólisis. Por lo tanto, la relación  $Fe^{+2}$ - $H_2O_2$  debe ser la mínima posible, evitando así la recombinación de los  $\bullet OH$  y evitando que se produzca una

excesiva precipitación de complejos de  $Fe^{+3}$ , los cuales, con el control del pH se logra retardar, debido a que este precipita a pH por encima de 3 (Gómez-García, 2009)

### **8.3.2. Eficiencia y escalado del proceso.**

(López, 2001) Explican que el tratamiento de efluentes por lotes resulta ser muy flexible a variaciones en la composición de la carga, pero sólo es económicamente eficiente para pequeños volúmenes, por ejemplo, lotes conteniendo mezclas de solventes que son típicos en industrias de la química fina o farmacéutica. Las principales desventajas son la baja automatización del proceso y la limitación que impone el control de la exotérmica de la reacción.

Un proceso intensificado favorecería un diseño intrínsecamente seguro a un costo sustancialmente menor. Si bien el diseño esquemático en un proceso Fenton intensificado es relativamente sencillo, su concreción práctica depende de un desarrollo experimental a escala laboratorio/banco que permita cuantificar la sensibilidad paramétrica de la reacción de foto-Fenton aplicada a contaminantes concretos respecto de factores tales como acidez, temperatura, relaciones másicas oxidante/contaminante, relaciones óptimas entre catalizador y peróxido de hidrógeno, etc., se presenta una alternativa conceptual para la intensificación del proceso Fenton; allí, la concepción del proceso se centra en la integración de un micro-reactor intensificado con un tanque de reciclo para constituir un lazo interno de reciclo desacoplado de las variaciones de la carga y descarga de la corriente a tratar.

Además de formarse radicales  $^{\circ}OH$ , se generan radicales per hidroxilo ( $HO_2^{\circ}$ ), los cuales inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar la materia oxidable. Sin embargo, los radicales  $HO_2^{\circ}$  presentan menor poder de oxidación que los  $^{\circ}OH$  (Domenech et al., 2004). Los principales mecanismos de reacción que se llevan a cabo con estos últimos son abstracción de hidrógeno, adición a la estructura del contaminante o transferencia de carga, mostrando una posible ruta de degradación a partir del proceso foto-Fenton del fenol (Zazo, 2005) y del metil ter-butyl éter (Hong, 2007), dos de los principales contaminantes de efluentes petroquímicos. Puede observarse que el proceso de transformación del contaminante inicia con la adición del radical  $^{\circ}OH$  a su estructura o con la abstracción de

un átomo de hidrógeno, dando lugar a intermediarios de reacción que a su vez pueden seguir oxidándose.

Por su parte, los iones férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) resultantes pueden, asimismo, reaccionar con el  $\text{H}_2\text{O}_2$ , lo cual conduce a la regeneración del  $\text{Fe}^{2+}$  (Ghosh, 2010). La constante de velocidad de esta reacción tiene un valor de  $0.01 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , aproximadamente (Baeyens, 2003), por lo que se considera como la reacción limitante del proceso. Además, durante el sistema Fenton puede tener lugar el consumo de radicales  $^{\circ}\text{OH}$ . Un exceso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y/o de iones de hierro al inicio del proceso, respecto de la cantidad de contaminante a tratar, limita la eficiencia del mismo. De igual modo, puede producirse la recombinación de radicales  $^{\circ}\text{OH}$  y/o la reacción de éstos con radicales  $\text{HO}_2$ . Diversos autores coinciden en que el rendimiento del proceso Fenton depende, entre otros factores, de la concentración del agente oxidante y catalítico, temperatura, pH y tiempo de reacción (Ghosh, 2010). Asimismo, la eficiencia de este proceso está relacionada con la naturaleza del contaminante a degradar y con la presencia de otros compuestos orgánicos e inorgánicos (Pignatello, 2006).

### **8.3.3. Comparación del proceso Fenton con otros procesos avanzados de oxidación.**

Muchos estudios han sido realizados con el fin de comparar la efectividad de degradación con diferentes procesos avanzados de oxidación para diferentes sustancias.

Para la degradación de nitrofenol y clorofenol, se ha reportado que la oxidación empleando el reactivo de Fenton es más efectiva que emplear  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ . (Kallas, 2005).

Otro estudio encontró más eficiente emplear foto-Fenton que una foto-degradación en presencia de  $\text{TiO}_2$  para tratar aguas residuales; se concluye en dicho estudio que esta diferencia se debe a que con el método foto-Fenton se produce mayor cantidad de radicales  $\text{HO}^{\bullet}$  y por lo tanto hay una mejor descomposición de los contaminantes (Bauer, 2005).

Por otro lado, una investigación demostró que Fenton y  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  alcanzaron el 90% de degradación de un herbicida (Atrazina) sin presentarse una diferencia significativa en la duración de ambos procesos avanzados de oxidación (Laat, 2000). (colaboradores, 1999) Aseveran que a la hora de remover 5-Nitro-1, 2,4 Triazol-3-ona—químico, altamente explosivo, el reactivo Fenton (estudiándose bajo los parámetros  $0.1\text{--}0.75 \text{ g/L FeSO}_4$ ;  $\text{pH} = 3$ ;  $0.1\text{--}1\% \text{ H}_2\text{O}_2$ ) es más efectivo que el proceso  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  ( $0.1\text{--}0.8 \text{ g/L TiO}_2$ ).

Un estudio paralelo al desarrollado por (Kallas, 2005) fue desarrollado, quienes evaluaron tres procesos de oxidación avanzada diferentes (O<sub>3</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV y Fenton) para la descomposición de clorofenol y nitrofenol, reportando que la descomposición más efectiva fue con Fenton.

Otro estudio que también reporta experimentos comparativos entre varios PAOs fue entre UV/TiO<sub>2</sub>, UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y foto-Fenton en la degradación de un pigmento amarillo (Amarillo 14), encontrando resultados en degradación de carga orgánica muy similares entre ellos, excepto con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tratamiento que no fue tan efectivo (Swaminathan (. y., 2007).

Un mayor desempeño de foto-Fenton con respecto a Fenton fue documentado para la mineralización de aguas con un pigmento, donde se reporta una mineralización del 46.4% con foto-Fenton y 21.6% con Fenton; ambos procesos obtuvieron reducciones similares en la coloración inicial, también se reportan relaciones óptimas muy similares bajo las mismas condiciones de operación: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub>/Tinte = 9.6:1 y [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub>/[Fe<sup>2+</sup>]<sub>0</sub> = 4.9:1, trabajando con pH = 3.0 (Lucas y Peres, 2006).

Otro caso en el que el proceso foto-Fenton reporta mayor degradación que Fenton fue al evaluar la degradación de pigmentos bajo las siguientes condiciones de operación: concentración inicial de colorante de 40 mg/L, concentración inicial de Fe<sup>2+</sup> = 0.1 mmol, pH = 3.0. Los parámetros sólo varían en la concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, la cual fue de 500 mg/L y de 700 mg/L para Fenton y foto-Fenton respectivamente (Swaminathan M. y., 2007).

#### **8.4. Proceso de oxidación avanzada.**

Los procesos de oxidación avanzada (POAs), son procesos catalíticos químicos o fotoquímicos que utilizan especies químicas conocidas como radicales hidroxilos (OH), los cuales tienen la propiedad de ser altamente oxidante. Entre los POAs, aquellos que producen radicales hidroxilos (HO) son los que tienen más éxito, ya que esta especie tiene un potencial de oxidación (E= 2.8) mucho mayor que otros oxidantes tradicionales (Tabla 5). Estos radicales al ser agentes oxidantes muy enérgicos, son capaces de oxidar compuestos orgánicos y convertirlos en inorgánicos e inoos; Además, pueden generar reacciones de oxidación en serie, las cuales pueden conducir a una mineralización total de los compuestos orgánicos (Teran, 2016)



**Tabla 5** Poder oxidante de algunos agentes.

| POTENCIAL DE OXIDACIÓN DE LOS REACTIVOS OXIDANTES |                     |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| REACTIVO OXIDANTE                                 | ÍNDICE DE OXIDACIÓN |
| Ozono                                             | 2,07                |
| Peróxido de Hidrógeno                             | 1,77                |
| Permanganato                                      | 1,67                |
| Dióxido de cloro                                  | 1,57                |
| Hypochlorous ácido                                | 1,49                |
| Cloro gas                                         | 1,36                |
| Hypobromous ácido                                 | 1,33                |
| Oxígeno                                           | 1,23                |
| Bromo                                             | 1,09                |
| Hypoclorous ácido                                 | 0,99                |
| Hipoclorito                                       | 0,94                |
| Clorita                                           | 0,76                |
| Yodo                                              | 0,54                |

Fuente: (GMBOZONE, 2013)

Los POAs ofrecen diferentes posibilidades para la obtención de radicales (OH), lo que permite una mejor interacción con los requerimientos específicos del tipo de tratamiento además, estas posibilidades pueden ser explotadas en la integración de los tratamientos biológicos con la degradación oxidativa de sustancias tóxicas ya sea a la entrada o la salida del tratamiento biológico. (Adreozzi, 2003)

Los radicales hidroxilo (OH) pueden ser generados por medios fotoquímicos usando como fuente la luz solar (ultravioleta, visible) o fuentes artificiales de la luz ultravioleta (lámparas de mercurio o xenón), y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica; si la degradación ocurre por excitación directa de la luz, es llamada fotólisis, mientras que si usa sensibilizadores, estos son compuestos inorgánicos u orgánicos que absorben la radiación ultravioleta y producen los radicales hidroxilo (OH). Muchas degradaciones de los contaminantes orgánicos con la foto sensibilizadora producen mineralización, formándose una variedad de compuestos inorgánicos. (Prieto, 2017)

#### **8.4.1. Proceso Fenton y Foto-Fenton.**

El proceso Fenton, se basa en una reacción propuesta originalmente por Henry J.H. en 1899 esta reacción fue planteada para la oxidación del ácido tartárico y ahora se conoce como proceso Fenton, este proceso se basa en la combinación de peróxido de hidrogeno y  $Fe^{2+}$  que actúa como catalizador, para la formación de radicales HO, esta reacción puede tener variaciones, como el uso de radiación UV, proceso que es llamado foto Fenton ya que este puede tener mayor eficiencia en la degradación de contaminantes orgánicos, este incremento en la velocidad de reacción es atribuido principalmente a la foto-reducción de los iones  $Fe^{2+}$ . (Gonzalez-Serrano T.Cordero J.Rodriguez-Mirasola L.Cotoruelo J.J.Rodriguez, 2004)

#### **8.4.2. Catalizadores para el proceso Fenton y Foto-Fenton.**

El método basado en la reacción Fenton se puede llevar a cabo en fase homogénea, es decir en donde los reactantes se encuentran en medio acuoso o en fase heterogénea en donde se emplea un catalizador sólido. El proceso homogéneo es más eficiente y de mayor cinética que el proceso, sin embargo, se generan lixiviados de hierro que a la larga pueden generar lodos que requieren procesos adicionales de limpieza, además el proceso no puede realizarse nuevamente con el mismo catalizador.

#### **8.4.3. Nanotubos de carbono.**

Los nanotubos de carbono (NTC) son unas de las diversas formas químicas en las que se puede encontrar el carbono y uno de los materiales con tamaños manométricos más interesantes debido a su alta resistencia y área superficial, en los NTC el átomo de carbono se enlaza de manera simétrica a través de enlaces formando láminas de grafeno que se enrollan para formar tubos estas estructuras pueden ser de pared simple o múltiple.

Gracias a su estructura, se han desarrollado métodos para su utilización como vehículos en el transporte de sustancias a nivel biomédico funcionalización química atrapamiento de metales, alineamiento para creación de semiconductores y chips por sus propiedades eléctricas y de semi-conducción y reforzamiento de mezclas asfálticas para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y de estabilidad.

## 8.5. Marco legal.

**Tabla 6** Marco legal

| Instrumento                                                              | Descripción                                                                                                                                                     | Documento                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Constitución Política de la República del Ecuador</b>                 | El Estado debe proteger el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable.     | Decreto Legislativo 0<br>Registro Oficial 449 de 20-oct-2008<br>Última modificación: 13-jul-2011                                                                                                                                                            |
| <b>Código orgánico ambiental</b>                                         | Constituye las normas más importantes del país en materia ambiental, en los cuales se regulan aquellos temas necesarios para una gestión ambiental adecuada.    | Registro Oficial No. 983<br>Fecha publicación: 12/Abril/2017<br>LIBRO PRELIMINAR TITULO TITULO II Art: 4, 5, 7.<br>CAPITULO II Art: 15<br>CAPITULO II DE LAS FACULTADES AMBIENTALES DE LOS GOBIERNOS AUTONOMOS DESCENTRALIZADOS<br>Art 26, 27 y 28 inciso 3 |
| <b>Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULAS)</b> | Establece políticas básicas ambientales del Ecuador                                                                                                             | Decreto Ejecutivo N° 3516<br>Registro Oficial Edición Especial No. 2<br>Fecha publicación: 31/Marzo/2003<br>Última modificación: 29-mar.-2017                                                                                                               |
| <b>Acuerdo ministerial 061</b>                                           | Reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria                                                                                              | Edición Especial N° 316 -<br>Registro Oficial - Lunes 4 de mayo de 2015                                                                                                                                                                                     |
| <b>Acuerdo 97 – A</b>                                                    | Proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones. | Edición Especial N° 387 -<br>Registro Oficial - 2015                                                                                                                                                                                                        |
| <b>NTE INEN 2266</b>                                                     | Esta norma establece los requisitos y precauciones que se deben tener en cuenta para el transporte, Almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos.   | Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en las NTE INEN 439, 1838, 1898, 1913, 1927, 1972, 2078, 2168                                                                                                                   |
| <b>DESECHOS INEN</b>                                                     | Esta norma tiene por objetivo establecer los métodos y procedimientos para la determinación de las                                                              | NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2266:2013<br>Segunda revisión                                                                                                                                                                                            |

|  |                                                                                                                                 |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | características de los desechos peligrosos y especiales y los lineamientos para su adecuada gestión en la jurisdicción del DMQ. |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Elaborado por:** Romero Marbely.

## **8.6. Descripción de línea base ambiental.**

La línea base ambiental contiene la descripción de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos correspondientes al área de influencia del sitio en donde se desarrollarán las actividades complementarias del diseño del modelo de tratamiento.

### **8.6.1. Medio físico.**

#### **8.6.1.1. Clima.**

La caracterización del clima del canto Latacunga se estableció con datos de estaciones meteorológicas en el periodo 2000-2009, por lo que este cantón tiene una temperatura anual de 14,1°C, una precipitación anual media de 66<sup>a</sup>,5 mm y su humedad anual media de 74,4%. Estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica Rumipamba-Salcedo, según los datos obtenidos la temperatura media anual refleja un valor mínimo de 13,6°C en el año 2000 y un valor máximo de 14,4°C, su precipitación anual indica un valor mínimo de 55,8mm.

Por otro lado, la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Latacunga refleja un valor anual mínimo de temperatura de 14.1 °C en el año 2006, una precipitación anual mínima de 365.1 mm en el año 2004 y un valor máximo de 720mm. En cuanto a la humedad relativa arroja valores mínimos del 71% en el 2005 y un valor máximo del 76% en el año 2000.

#### **8.6.1.2. Zona nival.**

Esta pertenece a los glaciares del volcán Cotopaxi con un ara de 15073,94 Ha, y el 9,8% del territorio del cantón Latacunga.

#### **8.6.1.3. Temperatura.**

En el análisis de temperatura se realizó mediante la información obtenida en la estación meteorológica de la Dirección General de Aviación civil,

La temperatura promedio registrada en el año 2001 y 2014 es de 14,3°C con su mínima de 12,9 °C-.

**Tabla 7** Registro Histórico de Temperatura

| <b>REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURA MEDIA EN °C AEROPUERTO DE COTOPAXI LATACUNGA</b> |             |               |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>AÑO</b>                                                                            | <b>Prom</b> | <b>Mx. Ab</b> | <b>Mn.Ab</b> |
| <b>2011</b>                                                                           | 14,3        | 15,2          | 13,2         |
| <b>2012</b>                                                                           | 14          | 15,2          | 13,2         |
| <b>2013</b>                                                                           | 13,2        | 15,2          | 11,8         |
| <b>2014</b>                                                                           | 12,9        | 13,2          | 1,18         |

Fuente: Dirección general de Aviación Civil 2015

#### **8.6.1.4. Vegetación.**

El área que rodea a estas localidades no tiene una vegetación permanente debido a que se ha destruido la vegetación nativa para lograr zonas cultivables, esto ha llevado a una alteración del medio ambiente.

#### **8.6.1.5. Ecología.**

Se encuentra en la formación ecológica bosque seco Montano Bajo (bs MB). Los componentes climáticos corresponden a una altitud que varía entre 2.200 a 3.000 m.s.n.m., con temperatura media anual que oscila entre 12 y 20° C y esta baja a la madrugada a 2 o 4° C bajo cero lo que es un factor limitante para la agricultura.

#### **8.6.1.6. Hidrografía.**

El predio se encuentra en el micro cuenca del río Salache – Isinche, que está incluida el área de drenaje natural de la subcuenca del río Cutuchi, que a su vez forma parte de la cuenca alta del río Pastaza. Esta área es parte de la cuenca del río Amazonas, vertiente del Océano Atlántico. A través de la brecha del Agoyán recibe esta zona, la influencia de las corrientes aéreas que caracterizan el amazónico.

#### **8.6.1.7. Suelo.**

Los suelos de esta área están formados por un enorme depósito de lahares, procedente del volcán Cotopaxi, integrado especialmente por bosques dentro de una matriz.

Se caracteriza por ser suelos profundos, medios y superficiales; las texturas van de franco–areno y hasta franco–arcilloso. El pH varía de neutro a ligeramente alcalino. El contenido de materia orgánica va de bajo a medio.

#### **8.6.1.8. Flora.**

En la zona de vida que se encuentra corresponde a la zona de “bosque seco Montano - Bajo”, ya que en el sentido geográfico esta zona corresponde a las llanuras y barrancos secos del Callejón Interandino y está en la cota de 2.200 – 3.000 m.s.n.m., la isoterma es de los 12 grados centígrados, en el cual podemos encontrar las siguientes especies silvestres que constituyen el factor paisajístico.

#### **8.6.1.9. Tipo de cobertura vegetal.**

La mayoría de las plantas son xerofíticas las cuales se han adaptado a soportar condiciones de sequía prolongada, en estos casos las raíces, tallos, hojas y el ciclo reproductivo se pueden adaptar en varias formas.

#### **8.6.1.10. Importancia de la cobertura vegetal.**

La cobertura vegetal del sector está representada en su mayor parte por especies herbáceas y arbustivas, no teniendo las especies arbóreas debido al suelo árido. La poca vegetación que se encuentra presente, muchas de ellas propias del lugar conllevan a un aporte importante en la biodiversidad.

#### **8.6.2. Medio socioeconómico y cultural.**

El cantón Latacunga en el centro de la zona andina del Ecuador tiene un nivel importante de desarrollo poblacional ya que anualmente se identifica un importante crecimiento poblacional, desde el año 1990 al año 2010 se un crecimiento del 1,88% y para el año 2014 con las proyecciones que se tiene es de 1,9% es decir 183446 habitantes de la población total del cantón, entre los datos urbanos y rurales.

El crecimiento poblacional de las parroquias rurales del cantón Latacunga de los años 2001 y 2010 según cifras que nos muestra el INEC se ve un porcentaje de crecimiento alto en la parroquia de Guaytacama, Tanicuchí y Pastocalle

### **9. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.**

¿Es viable el tratamiento de contaminantes orgánicos por el efecto Foto-Fenton?

¿El diseño propuesto es eficiente para el control de la contaminación en aguas residuales?

¿Los sitios para las muestras de agua de zonas de descarga del Río Cutuchi están definidos por parámetros técnicos?

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton.**

#### **10.1.1 Indagar información sobre normas, exigencias y procedimientos, para aplicar el método de oxidación avanzada (foto Fenton) en un modelo de tratamiento para contaminantes orgánicos.**

La presente investigación radica en la búsqueda de información sobre normas, exigencias y procedimientos nacionales que me ayuden a establecer una correcta aplicación del método foto Fenton para la eliminación de contaminantes orgánica del agua.

Para implementar el método foto Fenton en un modelo de tratamiento fue necesario delimitar ciertas especificaciones técnicas del agua a tratar que nos ayuden a conocer el porcentaje de reactivo a utilizar para una eficaz remoción de contaminantes orgánicos.

#### **10.1.2. Examinar las características para poner en funcionamiento el modelo de tratamiento de contaminantes.**

Se examinara las características necesarias y las más importantes para poder poner en marcha el modelo como son sus condiciones físicas y químicas de sus componentes que son necesarios para el funcionamiento del mismo.

### **10.2. Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos.**

#### **10.2.1. Plantear los pasos para la realización del tratamiento de contaminantes orgánicos.**

Se propone la guía para la realización del tratamiento en el cual se encontrara paso a paso como es la adecuada implementación para el eficiente tratamiento de los contaminantes orgánicos presentes en el agua.

##### **10.2.1.1. Detallar el medio para el procedimiento de los contaminantes.**

Se detallara como se realizara el procedimiento para el tratamiento de aguas de sus contaminantes persistentes en el agua, el cual se detallaran que utilizar como químicos los cuales nos sirven en el tratamiento mediante el método foto Fenton.

### **10.3. Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos.**

### **10.3.1. Caracterizar la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos del agua.**

Para la caracterización la eficacia sobre la remoción de los contaminantes presentes en el agua se realiza análisis de agua antes y después del proceso para saber el grado de eficiencia del tratamiento de contaminantes orgánicos mediante el proceso de oxidación avanzada como lo es la foto Fenton.

### **10.3.2. Determinar el tratamiento que puede ser aplicado para el tratamiento de contaminantes orgánicos.**

Se determina si el tratamiento puede ser aplicado en los tratamientos de contaminantes orgánicos de los mismos observando si la remoción de ha sido viable para ser aplicada con la dificultad y eficiencia de la misma.

## **11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **11.1. Establecer las especificaciones técnicas a implementar en el modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos empleando el efecto foto Fenton.**

Para poder establecer especificaciones técnicas sobre la normativa sobre el régimen legal e institucional a la contaminación del Río Cutuchi, como en:

#### **Constitución política del estado.**

“sección segunda.- Ambiente sano.- Art.14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”

“Art. 15.- El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzara en detrimento de la soberanía alimentaria ni afectara el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnología y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atente contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.”

De los artículos mencionados anteriormente, nos pudimos dar cuenta que en la sección primera se realza el agua como un derecho humano, lo que le hombre tiene derecho por naturaleza, y que es un elemento esencial para la vida ya que este líquido vital es de gran



importancia para la vida humana ya que sin este líquido no existiera vida sobre el planeta tierra.

Los procesos involucra poseen una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación muy incrementada por la participación de radicales, Esta especie posee propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar 10 incrementada por la participación de radicales, principalmente el radical hidroxilo, HO 6-10, 12 veces más rápido que oxidantes alternativos como el O<sub>3</sub>

### **11.2. Diseñar un proceso para elaboración del tratamiento de contaminantes orgánicos.**

Para el diseño de un modelo de tratamiento de contaminantes orgánicos mediante el proceso foto Fenton se debe tomar en cuenta lo siguiente.

El procesos foto Fenton consiste en la formación de radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ), que son muy reactivos en métodos de degradación y mineralización de contaminantes en aguas, estos radicales se consiguen mediante la adición de peróxido de hidrógeno a sales metálicas de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en disolución.

Para el proceso foto-Fenton se utiliza un reactor tipo batch de vidrio con un volumen de 2.3 L (VET: 600 mL); este tiene acoplado una lámpara ultravioleta recubierta de una camisa de cuarzo que permite su inserción en el centro de reactor. El aire fue suministrado a través de inyección directa a través de mangueras neumáticas conectadas al mismo a una velocidad de 2 Lh.

El catalizador se adicionara al principio de cada tratamiento, la agitación del reactor fue neumática utilizando flujo ascendente de aire a través de burbujeadores. La lámpara UV se colocó en la parte superior y se introdujo en una camisa de cuarzo de manera tal que se favorezca la transferencia de luz. Cada tratamiento se irradió por 2 h y se tomara muestras para analizar remoción de DQO y decoloración.

#### **Reactivos.**

El radical OH se genera in situ, por la adición de peróxido de hidrógeno, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> protoquímica, 35% (V/V) y sulfato ferroso,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  Merck, 99.5% en solución acuosa. Adicionalmente, en el proceso se emplea ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2 N y óxido de manganeso ( $\text{MnO}_2$ )

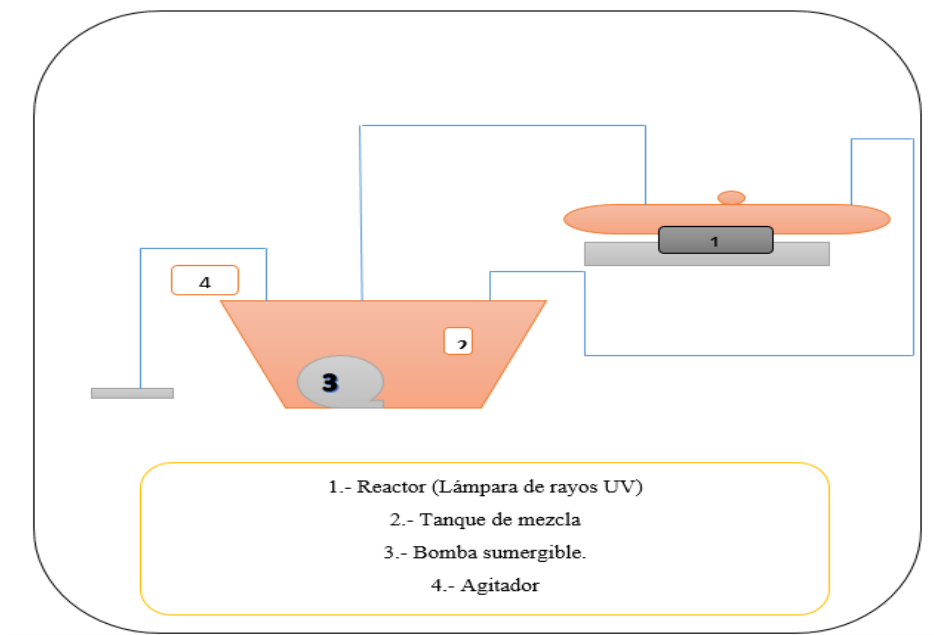
#### **Foto reactor lámpara de mercurio.**

Los diferentes ensayos de foto-Fenton que se realizara con radiación artificial se harán con una lámpara de mercurio de baja presión Atlantic Ultraviolet, modelo MP36B, la cual está rodeada por una carcasa de acero inoxidable, con una entrada y salida de agua y con una capacidad volumétrica de 7 L. El tubo de la lámpara es de 86 cm de largo y 1.5 cm de diámetro y la salida máxima es de 38 watts. La lámpara tiene una radiación UV monocromática a una longitud de onda de 254 nm.

El sistema incluye además un tanque de almacenamiento, una bomba de recirculación sumergible y un sistema de agitación, para garantizar la homogeneización y la turbulencia para proveer oxígeno disuelto en la solución. En la figura 1 se puede observar un diagrama de flujo del sistema foto-reactor.

En el tanque de mezcla se homogeneiza y recircula el agua residual a un caudal de 80 mL/s Pasando por la irradiación UV. Las muestras fueron tomadas en el efluente de la lámpara cada hora.

**Ilustración 1** Diagrama de flujo del sistema de la foto reactor.

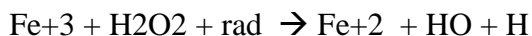


**Elaborado por:** Marbely Romero

Los pasos a seguir se detallara a continuación.

- 1) Ajustar la muestra a un  $\text{pH} < 3$ .
- 2) Para ello utilizar ácido sulfúrico.
- 3) Añadir en el tanque de mezcla y recircular el agua durante 15 minutos.
- 4) Añadir al tanque el sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).
- 5) Esperar 15 minutos, para la homogeneización de la concentración.
- 6) Añadir el peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).
- 7) Recircular toda la solución por 60 minutos.
- 8) Encender la lámpara para dar inicio a la reacción.

El proceso foto Fenton y Fenton hace referencia a la reacción del peróxido de hidrogeno con sales ferrosas, que así mismo generan radicales hidroxilos en condiciones de ph ácido a temperatura ambiente. La fórmula se la detallara a continuación:



### **11.3. Evaluar la viabilidad del modelo del tratamiento de contaminantes orgánicos.**

Para la evaluación del modelo de tratamiento de contenidos orgánicos se considera tres parámetros que influyen en el proceso foto Fenton:

#### **Efecto del pH.-**

Este método, como se ha comentado anteriormente, se lleva a cabo en medio ácido, ya que la degradación de los compuestos orgánicos da resultados óptimos a un pH por debajo de 3, esto se debe a la química del Fe y a las especies solubles o no solubles que formará. Cuando el  $\text{pH} > 4$  la eficiencia del proceso disminuye ya que el hierro precipita como óxidos e hidróxidos, especies no fotoactivas y por tanto incapaces de fotocatalizar la reacción. Esto provoca una disminución de la concentración de especies de hierro libres en disolución y por lo tanto disminuye también la producción de radicales hidroxilo y provoca que el potencial de oxidación disminuya con el aumento de pH.

#### **Efecto de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.-**

En el presente trabajo, se ha estudiado la variación de la concentración de peróxido de hidrogeno, utilizando la cantidad teórica estequiometria y la mitad de la estequiometria. Un exceso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conduce a una mayor producción de radicales hidroxilo (primera reacción) o a una mayor regeneración de Fe<sup>2+</sup> (segunda reacción).

#### **Efecto de la concentración de Fe<sub>2</sub>.-**

La concentración inicial de Fe<sup>2+</sup> que se emplee favorece la extensión de la reacción, ya que existirá una mayor producción de radicales hidroxilo.

También se considera para la viabilidad que los siguientes parámetros a tomar en cuenta:

#### **Análisis.**

La concentración inicial de Fe<sup>2+</sup> que se emplee favorece la extensión de la reacción, ya que existirá una mayor producción de radicales hidroxilo. Eliminación del peróxido de hidrogeno. Se utilizara óxido de manganeso para eliminar el peróxido de hidrógeno que quedó sin reaccionar en las muestras.

Se tomaran 25 mL de la muestra y se le adicionaran aproximadamente 0.5 g de MnO, se agita magnéticamente por 15 minutos hasta desaparición de burbujas y se filtra con papel

de filtro de 0.45 m. Se verifica la ausencia del peróxido de hidrógeno, por medio de titulación yodométrica.

### **Determinación de las concentraciones óptimas para la foto degradación.**

Para encontrar las concentraciones óptimas de  $Fe^{2+}$  y  $H_2O_2$ , en la degradación de los compuestos orgánicos, se trabaja el diseño de experimento factorial en tres niveles. Las variables de entrada fueron la concentración de hierro y la concentración de peróxido de hidrógeno. El pH se fijó en 2.8, al igual que la concentración inicial del COT a 100 mg/L. Las concentraciones de Fe variaron entre 5 y 50 mg/L y las de  $H_2O_2$  entre 200 y 500 mg/L

Este sistema de foto Fenton es viable debido que en documentos encontrados sobre papers tesis artículos científicos aseguran que entre el Fenton, fotolisis y el foto Fenton en la mineralización de los contaminantes ya que el Fenton elimina tan solo el 20% de carbono orgánico total (COT) en 500 minutos a diferencia del foto Fenton elimino el 80% del COT en 180 minutos por lo tanto su porcentaje de remoción fue más alta y en un menor tiempo esperado.

## **12. IMPACTOS**

### **12.1. Ambientales.**

Uno de los mayores problemas de hoy en día son las descargas directas al Río Cutuchi sin ningún tipo de tratamiento de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos siendo este la mayor fuente de contaminación hídrica en el mundo debido que la contaminación se extiende rápidamente por toda la superficie del agua, la situación actual del río Cutuchi con sus aguas representando un foco de infeccioso para los campos, la ganadería, y el consumo humano, ya que ha llegado a punto crítico por falta de cuidado de las autoridades sobre todo por el desorden en la planificación de asentamientos humanos, que han visto en el río un medio de desfogue de todas las aguas servidas, tanto del sector.

### **12.2. Económicos.**

El diseño a emplearse para el tratamiento de contaminantes orgánicos tiene un costo accesible para una comunidad y así poder realizar su propio tratamiento el cual ayudaría a mejor su salud y no se necesita de mucho dinero el cual sería una inversión mínima porque también se reducirían las enfermedades a causas de las aguas contaminadas.

### 12.3. Sociales.

El impacto social que el diseño de tratamiento por el efecto Foto-Fenton conduce, a iniciar una nueva tendencia de tratamientos de contaminantes orgánicos optando por alternativas amigables con el ambiente.

## 13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

| Recursos     | Detalles                   | Cantidad           | Valor Unitario       | Total  |
|--------------|----------------------------|--------------------|----------------------|--------|
| Humano       | Personal                   | 1                  | 50.00                | 50.00  |
| Oficina      | Libreta                    | 1                  | 1.00                 | 1.00   |
|              | Lápiz                      | 2                  | 0.50                 | 1.00   |
|              | Esferos                    | 2                  | 0.75                 | 1.50   |
|              | Hojas                      | 100                | 0.05                 | 0.50   |
|              | Impresiones                | 500                | 0.10                 | 50.00  |
|              | Carpetas                   | 2                  | 0.75                 | 1.50   |
|              | Tecnológico                | Cámara Fotográfica | 1                    | 119.00 |
| GPS          |                            | 1                  | 245.00               | 245.00 |
| Flash memory |                            | 1                  | 15.00                | 15.00  |
| Materiales   | Sulfato ferroso            | 1                  | 15.00                | 15.00  |
|              | Peróxido de hidrogeno 50%. | 1                  | 25.00                | 25.00  |
|              | Oxido de magnesio          | 1                  | 24.00                | 24.00  |
|              | Botas de caucho            | 1 par              | 12.00                | 12.00  |
|              | Overol                     | 1                  | 26.00                | 26.00  |
|              | Mascarillas Protectoras    | 1 caja             | 8.00                 | 8.00   |
| Otros        | Alimentación               | 40                 | 3.00                 | 120.00 |
|              | Transporte                 | 30                 | 0.30                 | 9.00   |
|              |                            |                    | <b>SUB TOTAL</b>     | 723.50 |
|              |                            |                    | <b>10% IMPUESTOS</b> | 72.35  |
|              |                            |                    | <b>TOTAL</b>         | 795,85 |

Elaborado por: Romero Marbely.

## **14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **14.1 Conclusiones**

La reacción que se usa es una mezcla de peróxido de hidrogeno y sales de hierro donde se producen radicales de hidroxilo a temperatura ambiente, la producción de radicales se aumentan irradiando la mezcla, lo que incrementa la velocidad de degradación de los contaminantes.

El tratamiento mediante el método de foto Fenton con luz artificial es viable para limpiar las aguas residuales con compuestos orgánicos solubles en agua, provenientes de las descargas al río Cutuchi, las concentraciones recomendadas para una mayor eficacia es del 27,5 mg/L de Hierro y 300 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Los reactivos a utilizar tienen muchas ventajas ya que el hierro es barato y no es toxico para la salud humana, el peróxido de hidrogeno es fácil de manejar son de venta libre los cuales se pueden encontrar fácilmente y a costos accesibles.

Al emplear este tratamiento en empresas que descargan sus aguas al río y que cuenten o no cuenten con una planta de tratamiento al complementarla con este método sus aguas saldrían con menos carga de contaminación orgánica.

### **14.2. Recomendaciones.**

Evaluar el proceso foto Fenton en la remoción de contaminantes tanto de industrias que descargan directamente al río Cutuchi como también de las viviendas que envían sus aguas servidas al mismo, ya que no se tiene control de estos en la ciudad.

Realizar dos diseños de esta metodología debido que el trabajo realizado es con luz artificial y la otra debería ser con luz natural es decir para el sol para saber en cual tiene mayor remoción de contaminantes orgánicos el tiempo ya que si al compararlos sus resultados son iguales se ahorraría al momento de implementar a escala industrial el costo de la lámpara.

Se recomienda realizar también la comparación entre los procesos Fenton y foto Fenton para comprobar si sus resultados son poco o altamente significativos al aumentar la reacción de la luz o en oscuridad, considerando también las condiciones específicas al momento de tomar las muestras de aguas residuales a tratar.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Adreozzi, R. (Marzo de 2003). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653502007695?via%3Dihub>
- Alvarado Granados , A. R. (2012). *Experiencia en el Tratamiento de aguas residuales*. Mexico: Universidad Autónoma de Mexico.
- Ambiente, S. d. (2010). *Diagnóstico Ecosistémico en el lenguaje ciudadano*. Mexico.
- Baeyens, N. y. (2003). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389402002820>
- Bauer. (2005). Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/370/37045328007/html/index.html>
- colaboradores, L. y. (1999). Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1348-Texto%20del%20artículo-4410-1-10-20120808%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1348-Texto%20del%20artículo-4410-1-10-20120808%20(1).pdf)
- Cruz, D. d. (14 de Marzo de 2015). Obtenido de <https://es.slideshare.net/renzodaviddelacruz/tratamientos-avanzados-de-ar>
- Cruz, J. (2012). *calameo*. Obtenido de calameo: <https://es.calameo.com/read/00552191690176b9cca75>
- Dickson. (1980). *Química enfoque ecológico*. Limusa S.A.
- Espadaler, G.-S., Okadera, Tsuzuki, & al., C. e. (Marzo de 2012). *SciencieDirect*. Obtenido de SciencieDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135497000031?via%3Dihub>
- Feria de la ciencia*. (2018). Obtenido de [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/CT\\_L\\_IE%20La\\_orina\\_como\\_fertilizante.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/CT_L_IE%20La_orina_como_fertilizante.pdf)
- Garcia, A. (2015). Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8256>
- Ghosh. (2010).
- GMBOZONE. (28 de Enero de 2013). Obtenido de GMBOZONE: <https://gmbozone.wordpress.com/2013/01/28/que-es-el-ozono/>
- Gómez-García, G. y. (2009).
- Gonzalez-SerranoA.T.CorderoaJ.Rodriguez-MirasolaL.CotorueloaJ.J.Rodriguez, A. I. (2004). *Sciencedirect*. Obtenido de Sciencedirect:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135404002167?via%3Dihub>
- Gupta VK, S. (2009). *ScienceDirect*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003290?via%3Dihub>
- Gutierrez, C. G. (2015). Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Hong. (2007).
- JC, G. (2012). *Remocion de colorantes sinteticos meidante le proceso foto fenton*.
- Jenkins, M., Bowman, D., & Ghiorse, W. (1998). *Inactivation of Cryptosporidium parbum oocysts by ammonia*. Applied and Environmental Microbiology.
- Kallas, T. y. (2005). Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021320/04Anexo.pdf>
- Laat, D. (2000). Obtenido de <http://www.enviolet.com/es/oxidacion-ultravioleta-uv/oxidacion-ultravioleta-uv/oxidacion-uv-reacciones-del-proceso-foto-fenton.html>
- Larsen , T., & Gujer , W. (1996). *Separate management of anthropogenic nutrient solutions*. Water Science and Technology.
- Lienert, J., Haller, M., Berner, A., Staffaucher, M., & Larsen, T. (2003). *How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled antropogenic nutrients (human urine)*.
- López, M. y. (2001). Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1348-Texto%20del%20artículo-4410-1-10-20120808%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1348-Texto%20del%20artículo-4410-1-10-20120808%20(4).pdf)
- Muñoz, G. (2008). Obtenido de <http://ecoportal.net>
- Niwagaba , C. (2007). *Human excreta treatment technologies – prerequisites, constraints and performance*. Obtenido de [http://dissepsilon.slu.se/archive/00001644/01/Niwagaba\\_Lic.pdf](http://dissepsilon.slu.se/archive/00001644/01/Niwagaba_Lic.pdf)
- OMS. (1995). *Guías para la calidad del aguapotable*. Organization of American States.
- Pignatello. (2006). Obtenido de <https://es.slideshare.net/renzodaviddelacruz/tratamientos-avanzados-de-ar>
- Pradhan S. (2009). *Sanidad sostenible* .
- Prieto, J. G. (2017). Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1729&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1729&context=ing_ambiental_sanitaria)



- Riga A, S. K. (2007). *SciencieDirect*. Obtenido de SciencieDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407001993?via%3Dihub>
- Rojas, J. (2008). *Diseño de un parque ecológico para el desarrollo de actividades recreacionales en la cuenca del río Cutuchi*. Latacunga: Nuevas Ediciones S.A.
- Rosemarin, A. (2010). *EcoSanRes – a Swedish international ecosan programme*.
- Sopena, R. (2012). *Diccionario ilustrado de la lengua*. Ramon Sopena S.A Tomo siete.
- Swaminathan, (. y. (2007). Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=hyk0DwAAQBAJ&pg=PA83&lpg=PA83&dq=\(Muruganandham+y+Swaminathan,+2007\)&source=bl&ots=100Xzb3DrZ&sig=ACfU3U1k9SKQRkppJ14uKE2VbGQpLx6lQA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiRu\\_T5t8fnAhUQCuwKHcWGCIQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=\(Muruganan](https://books.google.com.ec/books?id=hyk0DwAAQBAJ&pg=PA83&lpg=PA83&dq=(Muruganandham+y+Swaminathan,+2007)&source=bl&ots=100Xzb3DrZ&sig=ACfU3U1k9SKQRkppJ14uKE2VbGQpLx6lQA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiRu_T5t8fnAhUQCuwKHcWGCIQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=(Muruganan)
- Swaminathan, M. y. (2007). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/244339108\\_Investigation\\_of\\_the\\_Effect\\_of\\_Different\\_Electrode\\_Connections\\_on\\_the\\_Removal\\_Efficiency\\_of\\_Tartrazine\\_from\\_Aqueous\\_Solutions\\_by\\_Electrocoagulation](https://www.researchgate.net/publication/244339108_Investigation_of_the_Effect_of_Different_Electrode_Connections_on_the_Removal_Efficiency_of_Tartrazine_from_Aqueous_Solutions_by_Electrocoagulation)
- Teran, M. (11 de Enero de 2016). *Memoria UPC*. Obtenido de Memoria UPC: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01\\_TFG.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf)
- Vijayaraghavan K, & B. (2013). *A comparative evaluation of sorbents for the treatment of complex metal-bearing laboratory wastewaters*. Journal of Enviromental Chemical Engineering.
- Zazo. (2005).

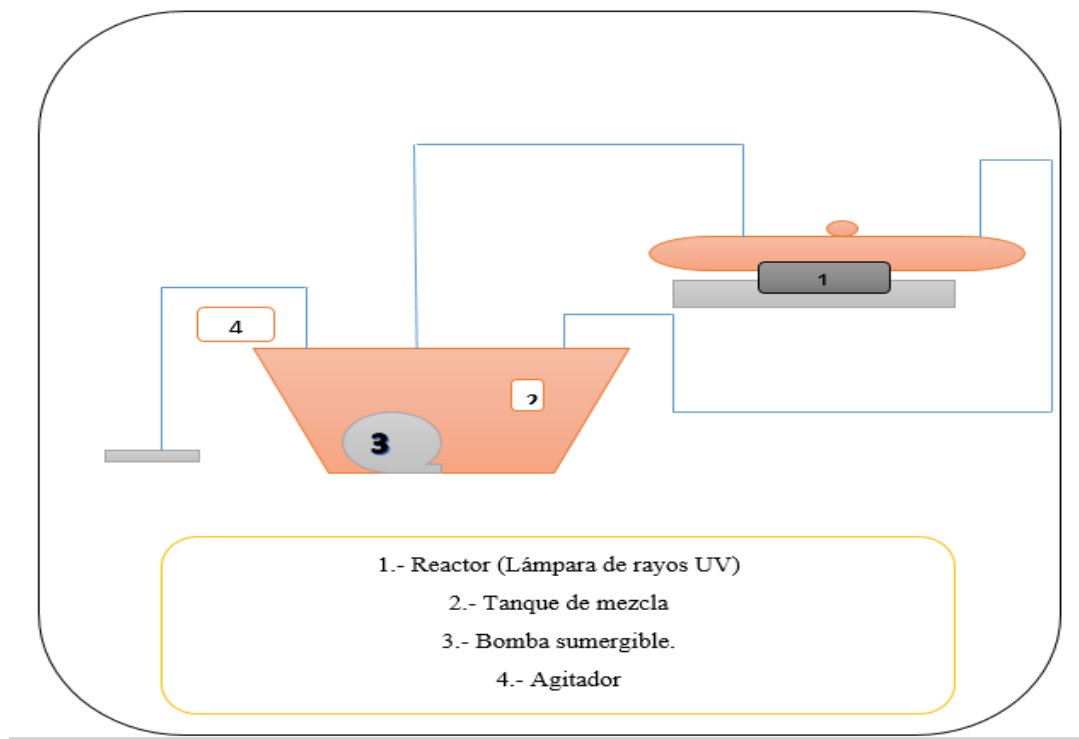
## 16. ANEXOS

### Anexo 1 Cultivos regados con aguas residuales.

| Cultivos regados con aguas residuales | Área (ha) | Caudal Lt/s |
|---------------------------------------|-----------|-------------|
| <b>Forestales</b>                     | 97        | 99          |
| <b>Frutales</b>                       | 47,772    | 40          |
| <b>Industriales</b>                   | 39,1418   | 1,473       |
| <b>Forraje</b>                        | 6,943     | 1,172       |
| <b>Hortalizas</b>                     | 48,691    | 1,511       |
| <b>Otros</b>                          | 806       | 696         |
| <b>TOTAL</b>                          | 494,727   | 4,991       |

Fuente: Scielo Colombia

### Anexo 2 Diagrama de flujo.



Elaborado por: Romero Marbely.

### Anexo 3 Aval del Traductor.



## CENTRO DE IDIOMAS

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por la Señorita. Egresada de la Carrera de **INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES: ROMERO CASTILLO GENESIS MARBELY** cuyo título versa **“DISEÑO DE UN MODELO DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL EFECTO FOTO FENTON EN MUESTRAS DE AGUAS DE ZONAS DE DESCARGA DEL RÍO CUTUCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI PERIODO 2019-2020”** Lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, octubre del 2020.

Atentamente,



Lic. Marcelo Pacheco Pruna Mg.  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C.0502617350**



CENTRO  
DE IDIOMAS