UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

Propuesta de tratamiento mediante oxidación avanzada del citostático Carbo-platino en aguas residuales hospitalarias.

AUTOR:

ROBAYO RUGEL ANGEL ESTEBAN

FIDELANTONIO MURILLO SILVA

DIRECTOR:

DR. BRAVO SÁNCHEZ LUIS RAMÓN

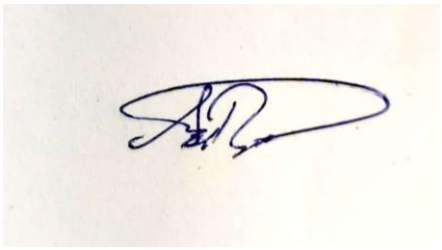
PUYO – ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Angel Esteban Robayo Rugel, con cédula de identidad No. 1600646671 & Fidel Antonio Murillo Silva, con cedula de identidad No. 1550008716 hacen constatar que las actividades realizadas para la elaboración y culminación del presente proyecto de investigación y desarrollo, que tiene como tema: **"PROPUESTA DE TRATAMIENTO MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA DEL CITOSTÁTICO CARBO-PLATINO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS.",** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.





FIDEL ANTONIO MURILLO SILVA **ANGEL ESTEBAN ROBAYO RUGEL**

CI. 1550008716 **CI. 1600646671**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de investigación y desarrollo con el tema: **"PROPUESTA DE TRATAMIENTO MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA DEL CITOSTÁTICO CARBO-PLATINO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS."**

Msc. Angélica María Tasambay Salazar

Presidente del tribunal

Msc. Karel Diéguez Santana

Miembro del Tribunal

Msc. Marcos David Landivar Valverde

Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 246-SAU-UEA-2020

Puyo, 10 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados MURILLO SILVA FIDEL ANTONIO con C.I. 1550008716 y ROBAYO RUGEL ÁNGEL ESTEBAN con C.I.

1600646671, con el Tema: **"Propuesta de tratamiento mediante oxidación avanzada del citostático Carbo-platino en aguas residuales hospitalarias"**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez PhD., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 10 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente



Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

AGRADECIMIENTO

A la culminación de la presente investigación, quiero expresar mi gratitud a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi formación académica, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. De igual manera gracias a mis hermanas por ser parte de mi vida y apoyarme en todo momento, por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal Amazónica, a la Escuela de Ingeniería Ambiental, en especial al Dr. Luis Bravo director de Tesis por su sabiduría, paciencia y dedicación que supo brindarla en el momento oportuno para el desarrollo de la presente investigación.

Angel Esteban Robayo Rugel

AGRADECIMIENTO

La meta de todo esfuerzo en el éxito, agradezco ante todo a Dios por darme la bella oportunidad de cursor mi carrera universitaria que con fortaleza y perseverancia me ha ayudado a seguir adelante y no darme por vencido y a mi familia que fue un pilar importante de consejos y motivación para ser un orgullo más de la familia.

Éxitos a la Universidad Estatal Amazónica que fue y es una de las mejor estancias académicas en las cuales me a acobijado de sus conocimientos para esta vida profesional y con muchos agradecimientos a nuestro tutor el Dr. Luis Bravo que fue una luz importante para llevar a cabo este trabajo y guiarnos hacia el éxito.

Fidel Antonio Murillo Silva

DEDICATORIA

Dedico Este trabajo a Dios quien es el creador de todas las cosas, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante en mi formación profesional, a mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, que gracias a su sacrificio diario pudieron darme una educación de calidad y por proporcionarme su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. A mis hermanas quienes han estado siempre apoyándome en todo momento y por demostrarme siempre su cariño y apoyo a lo largo de mi vida. A la Ing. Jhoselin García por ser una persona muy especial para mí, que supo bridarme todo el apoyo en cada instante para seguir adelante con mis metas y a mis amigos que supieron estar ahí en los momentos más difíciles, por estar siempre presente en todo momento, ya que sin su apoyo no hubiera logrado esta meta.

Angel Esteban Robayo Rugel

DEDICATORIA

Este trabajo es crucialmente dedicado a mi hermosa madre que siempre estuvo ahí desde mis primeros años de estudio y que cultivo el sentimiento de perseverancia y motivación para lograr cualquier cosa en esta vida, el propósito de seguir adelante con una sonrisa y pie firme en la travesía de este trabajo se la dedico a mi querida señorita Cristina Zapata que fue de una inmensa ayuda tanto para mí como para seguir los pasos de un verdadero profesional, a mi hermano que con gran orgullo se lo podre decir “si pude”.

Fidel Antonio Murillo Silva

RESUMEN

Como propuesta para la eliminación del contaminante emergente Carbo-platino en aguas hospitalarias se consideró la oxidación avanzada, a través de dos de los métodos más utilizados, el primero de los cuales consiste en la utilización de radiación ultravioleta, peróxido de hidrógeno y fotocatálisis homogénea en presencia de iones ferrosos y el segundo consiste en utilizar también luz ultravioleta y peróxido de hidrógeno, pero con fotocatálisis heterogénea en presencia de óxido de titanio. Para demostrar la validez y las posibilidades de poner en práctica dichos procedimientos y obtener el resultado esperado, se procedió a realizar una investigación bibliográfica a través de la cual se comprobó la eficacia de estos métodos ante otros contaminantes emergentes (compuestos de naturaleza orgánica) y se realizó un análisis de su viabilidad y el posible costo económico que conllevaría a poder implementar estos procedimientos a gran escala. Teniendo en cuenta esto, se propuso un esquema para estudiar la fotocatálisis homogénea usando cajas Petri donde se colocaría un volumen determinado del agua contaminada con Carbo-platino, el catalizador (iones ferrosos o el óxido de titanio) y se aplicaría un tiempo de exposición de 2 a 3 horas. Bajo estas condiciones, se recomienda el uso de la catálisis homogénea como mejor opción por su bajo costo de implementación y por reportarse siempre porcentajes de remoción superiores al 90% frente a otros contaminantes similares al Carbo-platino que están presentes en aguas residuales hospitalarias.

PALABRAS CLAVE: contaminantes emergentes, tratamiento de oxidación, Carbo-platino

ABSTRACT

Advanced oxidation was considered as a proposal for the elimination of the emerging pollutant carboplatin in hospital waters, through two of the most widely used methods, the first of which consists of the use of ultraviolet radiation, hydrogen peroxide and homogeneous photocatalysis in the presence of ferrous ions and the second is also using ultraviolet light and hydrogen peroxide, but with heterogeneous photocatalysis in the presence of titanium oxide. To demonstrate the validity and the possibilities of putting these procedures into practice and obtaining the expected result, a bibliographic investigation was carried out through which the effectiveness of these methods was verified against other emerging pollutants (compounds of organic nature) and carried out an analysis of its feasibility and the possible economic cost that it would entail to be able to implement these procedures on a large scale. Taking this into account, a scheme was proposed to study homogeneous photocatalysis using Petri dishes, where a certain volume of water contaminated with carboplatin, the catalyst (ferrous ions or titanium oxide) would be placed and an exposure time of 2 to 3 hours. Under these conditions, the use of homogeneous catalysis is recommended as the best option due to its low implementation cost and because removal percentages higher than 90% are always reported compared to other contaminants similar to carboplatin that are present in hospital wastewater.

KEY WORDS: emerging contaminants, oxidation treatment, carboplatin

CONTENIDO

CAPÍTULO I 11

1. INTRODUCCIÓN 11

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12

1.2.1. OBJETIVOS 13

OBJETIVO GENERAL 13

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

1.3. JUSTIFICACIÓN 13

CAPÍTULO II 14

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 14

2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES 14

2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES EMERGENTES 14

2.2.1. PLAGUICIDAS 14

2.2.2. FÁRMACOS Y PRODUCTOS DE ASEO PERSONAL 14

2.2.3. AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS 14

2.3. OXIDACIÓN AVANZADA 15

2.5. FOTOCÁTALISIS HETEROGÉNEA 17

2.6. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES 17

CAPÍTULO III 19

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 19

3.1. TIPO O DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 19

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 19

3.3. TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS CITOSTÁTICOS 19

3.3.1. RADIACIÓN UV – FOTOCATÁLISIS DIRECTA 19

3.3.2. RADIACIÓN UV Y H2O2 20

3.3.3. FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA EN PRESENCIA DE IONES FERROSOS 21

3.3.4. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN PRESENCIA DE DIÓXIDO DE TITANIO Y LUZ ULTRAVIOLETA 21

3.4. SISTEMAS DE DEGRADACIÓN DEL CITOSTÁTICO CARBO-PLATINO 23

3.4.1. DEGRADACIÓN DE CARBO-PLATINO MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA EN PRESENCIA DE RADIACIÓN UV, H_2O_2 Y $Fe2+$ 23

3.4.2. DEGRADACIÓN DEL CARBO-PLATINO MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON $TiO2$, /$H2O2$ /UV 23

CAPÍTULO IV 24
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 24
4.1. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DE FENTON-FENTON EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS 27
5. CONCLUSIONES 28
6. RECOMENDACIONES 29
7. BIBLIOGRAFÍA 30

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los compuestos citostáticos son importantes para la salud humana pues se utilizan en el tratamiento de enfermedades neoplásicas, sin embargo, conllevan a un riesgo potencial en el ambiente y las personas, dada la toxicidad de sus residuos, pues, en general, todos los compuestos empleados en la terapia contra el cáncer son mutagénicos (Bassi & J, 2003).

Los citostáticos pueden estar presentes en las aguas residuales hospitalarias ya sea por vertidos de líquidos que los contienen, lo cual viola las normas de bioseguridad, pero también de manera inevitable llegan a las aguas a través de las excretas de los pacientes, ya sea orina o heces. Gran parte de estos citostáticos no son biodegradables por lo que pueden pasar por los filtros de depuración y terminar en las aguas más cercanas, por lo que las disoluciones residuales no deberían eliminarse simplemente por el alcantarillado, sino, según su peligrosidad (Eiteil, M., & Kummerer, 2000).

Los compuestos citostáticos tienen varias categorías farmacológicas y pueden ser incluso, de origen natural; entre ellos están los agentes alquilantes y citotóxicos, propiamente dichos y algunos también son antibióticos u hormonas. En su mayoría, estos agentes interactúan en gran parte con el ADN o sus precursores e inhiben la síntesis del nuevo material genético (Rodríguez Morales, 2004).

Lo anteriormente explicado y el hecho de que no existan regulaciones específicas para su concentración en aguas residuales hospitalarias y mucho menos para aguas residuales urbanas, permite clasificar a los citostáticos como contaminantes emergentes. Un aspecto significativo a destacar es que los contaminantes emergentes, en general, son compuestos orgánicos, químicamente complejos. Su persistencia en el ambiente puede ser mayor de un año para algunos, como: eritromicina, ciclofosfamida, naproxeno, sufametoxazol y ácido clofíbrico, por lo que pueden acumularse y alcanzar niveles biológicamente activos. Un fármaco ingerido o introducido por la vía parenteral, puede ser excretado de forma inalterada, en cambio, otros se metabolizan total o parcialmente en el cuerpo humano y, por lo tanto, se desechan transformados en otros compuestos llamados metabolitos, que a veces son inactivos y a veces son igualmente o más tóxicos que el fármaco original. Algunos de estos contaminantes emergentes, especialmente los residuos de fármacos y los compuestos orgánicos halogenados, se descargan frecuentemente en los efluentes de

Las plantas de tratamiento de residuales, después de experimentar una pequeña e insuficiente degradación (Kummerer, 2001).

En la actualidad los tratamientos de aguas residuales se están llevando a cabo, además de las vías convencionales, mediante procesos no convencionales, entre los cuales se destacan los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), que pueden ayudar a eliminar compuestos citotóxicos y citostáticos de manera más eficiente. Estos procesos encaminados a oxidar compuestos orgánicos, se basan en su capacidad de generación "in situ" de radical hidroxilo (•OH), especie con un alto potencial de oxidación mediante la combinación de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con un catalizador como iones de hierro II. Estos radicales •OH son capaces de oxidar muchos compuestos orgánicos de forma no selectiva y con altas velocidades de reacción. Esta propiedad es aprovechada para conseguir la completa mineralización de los contaminantes o su degradación en sustancias más fácilmente biodegradables (Salas, 2010).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las grandes ciudades los efluentes hospitalarios líquidos son descargados, sin tratamiento previo, a la red municipal que los transporta, junto con las aguas residuales domésticas, a las plantas para tratamiento de efluentes. Uno de los principales problemas sanitarios relativos a la contaminación ambiental es el vertido de residuos tóxicos a las aguas. Por ello es importante efectuar investigaciones de los riesgos que pueden producir los contaminantes presentes en las aguas residuales de centros de salud sobre el ecosistema. Los compuestos citostáticos son clasificados como carcinogénicos, teratogénicos, genotóxicos por lo que perjudican la salud de manera significativa si la persona se encuentra en contacto con estas sustancias. Existen varias áreas de exposición a citostáticos como son las plantas de tratamientos de aguas residuales provenientes de hospitales o clínicas privadas que administran estos compuestos a sus pacientes (Arana Belloso, 2010).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo lograr una adecuada eliminación de carboplatino, mediante de un proceso de oxidación avanzada, en aguas residuales hospitalarias?

1.2.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un método para la eliminación del carboplatino mediante oxidación avanzada, de aguas residuales hospitalarias.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 Evaluar la viabilidad de aplicar un proceso de oxidación avanzada para la degradación química del citostático carboplatino mediante radiación ultravioleta, peróxido de hidrógeno y fotocatálisis homogénea en presencia de iones ferrosos.

2 Valorar el empleo alternativo del proceso de oxidación avanzada de carboplatino, utilizando peróxido de hidrógeno y fotocatálisis heterogénea en presencia de óxido de titanio y luz ultravioleta.

3 Proponer un esquema de tratamiento para la eliminación de carboplatino de aguas residuales hospitalarias mediante oxidación avanzada.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la conservación del ambiente es primordial para el cuidado de los recursos naturales que brinda el mismo y que por causas de la mano del hombre se han ido deteriorando poco a poco, además, se debe tomar en cuenta la repercusión que puede ocasionar el uso inadecuado del recurso, así como las medidas para mitigar y revertir este problema.

La propuesta de sustentabilidad de los recursos hídricos ante la polución ocasionada por parte de las aguas hospitalarias contaminadas, es proponer un método de destrucción de los contaminantes emergentes, y el carboplatino es uno de los más peligrosos, de forma tal que el mismo no pueda afectar a la flora y fauna que habitan en los cuerpos hídricos, el uso de este citostático es frecuente ya que es usado en el tratamiento del cáncer, y los residuos que se generan en los hospitales no logran ser destruidos con los filtros de depuración del mismo, en la siguiente propuesta se analizará un esquema de tratamiento para la eliminación de carboplatino de aguas residuales hospitalarias mediante oxidación avanzada.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES

Los denominados contaminantes emergentes definidos en sí por referirse a compuestos de distinto origen de naturaleza química, pueden ser plaguicidas, compuestos farmacéuticos, de aseo personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales, que no están incluidos en el monitoreo actual de programas de tratamiento de aguas (Gil, 2012).

2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES EMERGENTES

2.2.1. PLAGUICIDAS

Los pesticidas no solo sirven para matar insectos, también incluyen sustancias químicas para el control de hierbas, roedores, moho, gérmenes y otros. Muchos productos domésticos contienen pesticidas. Los pesticidas pueden proteger la salud al matar los gérmenes, sin embargo, estos también pueden ser dañinos para las personas o las mascotas (Medlineplus.gov, 2020).

2.2.2. FÁRMACOS Y PRODUCTOS DE ASEO PERSONAL

Los productos farmacológicos y de higiene personal son un campo amplio de compuestos químicos empleados específicamente para el cuidado de la salud humana y animal. Desde la década de los 90 los contaminantes emergentes fueron objeto de estudios de los científicos por sus características físico-químicas y a las características del suelo, estos compuestos pueden llegar a alcanzar aguas subterráneas, contaminando los acuíferos o ser retenidas por los suelos (Eva, 2014).

Los diferentes tipos y mecanismos de aplicación de estos productos casi siempre terminan en las llamadas plantas de tratamientos de aguas, cuando el agua es tratada puede haber una eliminación parcial de estos compuestos. Los residuos de estas plantas de tratamientos pueden albergar sustancias no degradadas que son bio-acumulables y peligrosas cuando son descargadas a los afluentes (Campos, 2019).

2.2.3. AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS

El consumo de grandes cantidades de agua ocurre en los hospitales, pero a su vez genera una gran cantidad de volúmenes de aguas residuales cargadas en su totalidad de toxinas, drogas, microorganismos, radioisótopos y elementos radiactivos, metales pesados compuestos halogenados, etc., cuyas afecciones al ser humano podrían ser graves si están expuestos a estas aguas residuales. Una parte importante de los medicamentos es que las

Sustancias farmacológicas activas están constituidas por moléculas grandes y complejas siendo persistentes en el medio donde se los vierte. Estos medicamentos pueden ser excretados de manera en que no han sufrido un cambio o como un metabolito principal. Algunos de estos compuestos se acumulan en los lodos que son residuos de la planta de tratamientos y otro por ciento se acumula en las aguas tratadas que son descargadas a los efluentes (Ramos- Alvariño, 2013).

2.3. OXIDACIÓN AVANZADA

Los procesos de oxidación avanzada (POA) son puestos en funcionamiento para un tratamiento terciario dentro de las fases de una planta de tratamiento de aguas residuales, cuyo propósito tiene en oxidar una variedad de contaminantes que no se degradaron por tratamientos convencionales. Este proceso consiste en un procedimiento fotoquímico capaces de producir cambios significativos en la estructura química de los compuestos contaminantes basándose en su capacidad de generación de radicales hidroxilos en combinación a un agente oxidante como el peróxido de hidrogeno y un catalizador como Iones férricos (Sarai Bes, 2018).

En varios estudios los resultados obtenidos muestran que más del 90% de la eliminación total de la DQO (56%) se alcanza en los primeros 10 minutos de reacción, lo que supone una ventaja a la hora de aplicar la oxidación Fenton a nivel industrial, puesto que permite una reducción significativa de la DQO en periodos de tiempo cortos. Esta ventaja frente a otros procesos de oxidación avanzada también ha sido puesta de manifiesto en una investigación del año de 1997, en donde se comparó la eficiencia de tres POAs (H_2O_2/UV, O_3/UV y Fenton) en la eliminación de compuestos orgánicos halogenados (AOX) y de la DQO de dos efluentes de la industria farmacéutica. Los tres tratamientos resultaron ser adecuados para la degradación de los AOX y DQO, sin embargo, la oxidación Fenton es menos selectiva que la radiación UV en la degradación de los AOX, pero es considerablemente más efectiva en la eliminación de la DQO (Valenzuela Larrea, 2019).

2.4. FOTOCÁTALISIS HOMOGÉNEA

La fotocatálisis homogénea (Fenton y foto-Fenton) son procesos de fotocatálisis, de forma que se puede describir como el proceso de una combinación de peróxido de hidrógeno y Fe (II) en un medio acido conlleva la formación de radicales hidroxilos (OH) y al proceso de oxidación del Fe (II) a Fe (III) que su vez dentro de todo este proceso de

oxidación ocurre una foto reducción del Fe (III) con la generación adicionales de radicales hidroxilos (OH).

El reactivo Fenton se ha comprobado con eficiencia al momento de usarlo como catalizador oxidante en la eliminación de fármacos de forma individual. La necesidad de un estricto control del pH es una desventaja al realizar el proceso del clásico Fenton. En varios casos se ha observado que el pH óptimo es 3. Los complejos de Fe^{3+} que suelen formarse en una disolución ácida son el $F(OH)^{2+}$ y $Fe_2(OH)_2^{4+}$ que absorben luz ultravioleta (UV). Estos compuestos sufren un proceso denominado foto reducción que a su vez generan radicales hidroxilos y Fe^{2+}. Existe una especie de compuesto que es importante y se denomina $F(OH)^{2+}$ debido a su alto coeficiente de absorción y una alta concentración relativa en comparación a otras especies de Fe^{3+}. El complejo $[F(H_2O)]^{2+}$ en un pH inferior a 2.5, hace que reaccione de manera lenta con el peróxido de hidrógeno que conlleva a una menor producción de hidroxilos, hecho que se ve comprometido con la disminución del proceso Fenton (ecuaciones 1, 2)

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH + OH^- \quad (1)$$

$$Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + HO_2 + H^+ \quad (2)$$

$$F(OH)^{2+} \xrightarrow{hv} Fe^{2+} + HO \quad (3)$$

$$[Fe^{3+}L] \xrightarrow{hv} [Fe^{3+}L]^* \rightarrow Fe^{2+} + L^* \quad (4)$$

$$[Fe^{3+}(OH^-)(H_2O)y] \xrightarrow{hv} Fe^{2+} + (x-1)H^- + yH_2O + OH \quad (5)$$

$$[Fe^{3+}(RCO^{2-})] \xrightarrow{hv} Fe^{2+} + R + CO_2 \uparrow \quad (6)$$

$$R + H_2O_2 \rightarrow ROH + OH \quad (7)$$

$$R + O_2 \rightarrow ROO \quad (8)$$

La velocidad de la degradación de los contaminantes orgánicos mediante este proceso de Fenton se agilita con más precisión gracias a la irradiación de rayos UV. Este proceso es conocido como foto-Fenton la cual el Fe^{3+} sufre una transferencia de carga ligando metal (ecuación 3,4 y 5), originando a su disociación en Fe^{2+} y (OH) que conlleva a que el hierro pueda reaccionar nuevamente con el peróxido de hidrógeno. Los llamados radicales hidroxilos reaccionan de forma conocida con los compuestos orgánicos

principalmente la abstracción de hidrógeno de los enlaces C-H, N-H U O-H, adición a enlaces C=C, adición electrofílica, transferencia de electrones, o adición de anillos aromáticos. El proceso de abstracción de hidrógeno es el mecanismo de degradaciones más común que se observa. En la ecuación 6 se observa que pueden generarse radicales orgánicos que se pueden seguir oxidando de manera continua en presencia de peróxido de hidrógeno u oxígeno molecular (ecuación 7, 8). El resultado es que generan radicales hidroxilos o radicales peróxidos respectivamente

2.5. FOTOCÁTALISIS HETEROGÉNEA

La Fotocatálisis heterogénea resulta ser una técnica eficiente e innovadora, ha despertado mayor interés dentro de la comunidad científica, a ser aplicada para la eliminación de compuestos contaminantes orgánicos e inorgánicos (Ramos, 2017).

La fotocatálisis se presenta cuando se produce una trasferencia de energía en una molécula excitada foto químicamente a un aceptor, para formar especies activas. Principalmente para este proceso se usan foto sensibilizadores que permanecen en suspensión, estos sensibilizadores conocidos como catalizadores son compuestos inorgánicos, entre ellos Fe^{3+}, nitratos, nitritos, TiO_2, y ZnO, de la misma manera que actúan absorbiendo radiación ultravioleta y producen especies reactivas como el hidroxilo (HO▪), etc. Estos compuestos son capaces de descomponer compuestos orgánicos rápidamente (Puñuela, 2016).

2.6. TRATAMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES

Los tratamientos para eliminar lo contaminantes emergentes de aguas residuales son poco confiables ya que muchos compuestos aún siguen presentes después de haberse aplicado tratamientos terciarios. Por tal motivo, se debe realizar una identificación y a su vez una evaluación de la eficacia de estos tratamientos al monto de ser aplicados y tratados en estas aguas residuales y así proponer una solución que nos permita minimizar la persistencia de estos contaminantes emergentes con un bajo consumo de energía, un precio económico y una respuesta positiva al medio ambiente. Es así por lo que existen tres categorías en las que se puede clasificar a los tratamientos de los contaminantes emergentes: fisicoquímicos, bilógicos y avanzados

Tratamientos fisicoquímicos:

- **Ultrafiltración:** Se utiliza la presión hidrostática del agua a través de una membrana que sirve como barrera para la separación de los contaminantes del agua limpia. La membrana utilizada en este sistema de filtración generalmente es de 0.02 micras
- **Oxidación**: en este sistema de remoción se utiliza generalmente cuando se utiliza ozono y cloro.

Tratamientos Biológicos: Este tipo de tratamiento en su mayoría suelen ser económicos ya que no se requiere de muchos insumos para su elaboración pero a su vez este tipo de tratamientos no en su totalidad los contaminantes emergentes, los más utilizados son lodos activados y filtración por goteo

Tratamientos avanzados: Estos tratamientos son utilizados para la eliminación de contaminantes emergentes, el más común es el de oxidación avanzada, donde se producen radicales hidroxilos los mismos que son capaces de oxidar la mayor parte de compuestos químicos complejos que están latentes en las aguas residuales en estos procesos se incluye la oxidación catalítica la cual usa la radiación UV en la presencia de catalizadores semiconductores y la oxidación química del frentón el cual usa las reacciones entre iones Fe y la del peróxido de hidrógeno).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO O DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue exploratoria y documental. Se revisó bibliografía a partir de bases de datos de prestigio internacional con visitas a fundamentar teóricamente toda la investigación.

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para cumplir con el primero de los objetivos se hizo una valoración acerca de la viabilidad de aplicar un proceso de oxidación avanzada para la degradación química del citostático carboplatino mediante radiación ultravioleta, peróxido de hidrógeno y fotocatálisis homogénea en presencia de iones ferrosos, destacando los tipos de transformaciones químicas que pueden verse involucradas.

Posteriormente se dio cumplimiento al segundo objetivo, a través del planteamiento de una alternativa de tratamiento empleando fotocatálisis heterogénea en presencia de óxido de titanio y luz ultravioleta.

Finalmente, se propuso un esquema teórico de tratamiento para la eliminación de carboplatino de aguas residuales hospitalarias mediante oxidación avanzada.

3.3. TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS CITOSTÁTICOS.

3.3.1. RADIACIÓN UV – FOTOCATÁLISIS DIRECTA

Algunos estudios han demostrado la posibilidad de degradar algunos contaminantes empleando fotocatálisis directa con UV, la ventaja de este procedimiento es que no se añaden reactivos químicos, sino que solo actuaria los rayos UV, un fotón de 254nm equivale a 4.89 eV, cuya energía es suficiente para producir rupturas homolíticas y heterolecitas en moléculas.

Esta irradiación directa conduce a la promoción de una molécula del estado fundamental a un estado totalmente excitado, que posteriormente puede sufrir un cruce intersistema para producir estados triples. Cuyos estados excitados puedes sufrir homolisis, heterolisis o fotoionización.

$$R - R + hv \longrightarrow R - R^* \longrightarrow 2R^*$$

Los radicales inician reacciones en cadena que producen especies químicas finales de más baja masa molar. Con la presencia de oxígeno, son posibles las reacciones adicionales con la generación de radical superóxido.

$$R - R^{*} + O_2 \rightarrow 2R - R^{\circ +} + O_2^{\circ -}$$

Su poder oxidante no es muy alto, el radical peróxido puede degradar compuestos aromáticos sustituidos, con alta absorción en el rango UV. (Gonzalez, 2013).

3.3.2. RADIACIÓN UV Y H_2O_2

Los tratamientos de micro contaminantes empleando el conjunto de radiación UV y peróxido de hidrógeno está vinculado a la generación de radicales hidroxilo que a partir del H_2O_2 pueda romperse por acción de algunos fotones con una energía superior a la de la unión O-O[1], cuyo rendimiento cuántico unitario ($\phi_{HO^{*}} = 0.98\ a\ 254\ nm$) por lo que produce casi cuantitativamente dos HO^{*} por molécula de H_2O_2.

Este tratamiento, cuyas propiedades es de aprovechar si otras especies absorben los fotones y llegan a una fotólisis directa, mejorando la eficiencia del proceso de oxidación destructiva. La intensidad de la radiación UV decae exponencialmente hacia el centro de la solución, lo cual es necesario establecer condiciones de un flujo turbulento para restaurar la solución cenca de la fuente luminosa (Sepúlveda C., Palma T., & Contreras V., 2006).

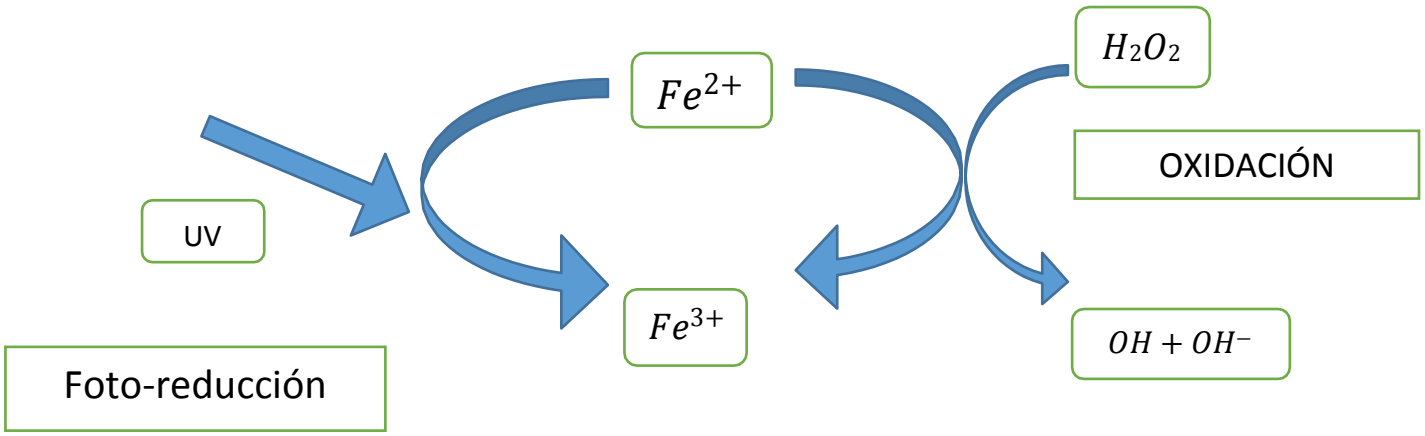


Figura 1. Sistema de la reacción en presencia de UV/H_2O_2

3.3.3. FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA EN PRESENCIA DE IONES FERROSOS

El proceso de fotocatálisis homogénea implica la absorción de radiación UV o luz visible, con un catalizador y las muestras a degradar en una disolución acuosa. Este proceso implica la generación de radicales hidroxilos (OH) que comienzan la oxidación y la degradación de los contaminantes orgánicos. La degradación de contaminantes orgánicos con el proceso Fenton aumenta cuando el sistema está expuesto a una radiación UV. En esta reacción aprovecha el espectro de longitudes de onda mayores a 300nm hasta 600nm. La fotólisis de los compuestos complejos de Fe^{+3}que se forman en la reacción de Fenton en ausencia de luz (oscuridad) hace que se regenere el elemento Fe^{+3} a Fe^{+2} llegando que este siga reaccionando con los demás radicales hidroxilos presentes o a los que se adicionaron al aumentar nuevas porciones de H_2O_2 al sistema y así continuando la reacción de oxidación

$$F(OH)^{+2} + hv \rightarrow Fe^{+2} + OH$$

$$HRH + OH \rightarrow H_2O + RH$$

Este proceso conlleva al formarse un ambiente ácido con PH mayor a 3 lo cual hace necesario su separación mediante otro proceso de tipo coagulación, sedimentación o filtración. Algunas de las principales sales que se utilizan en este proceso de oxidación son el fluoruro, bromuro y cloruro, existen otras especies que son fotoactivas tales como $FeOH_2$ Y $F(OH)^{4+}$y su importancia depende en su totalidad del PH y de la longitud de onda de la reacción (Edison GilPavas, 2011).

3.3.4. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN PRESENCIA DE DIÓXIDO DE TITANIO Y LUZ ULTRAVIOLETA

La fotocatálisis heterogénea emplea un material sólido, el fotocatalizador, que cuando se expone a una fuente de luz adecuada puede generar especies reactivas (como los radicales HO•) que promueven reacciones de reducción u oxidación. El dióxido de titanio TiO_2) es el semiconductor más usado en fotocatálisis, debido a que es química y biológicamente inerte, estable a corrosión fotoquímica y química, relativamente abundante y económico. El TiO_2 se encuentra en tres formas cristalinas: brookita, rutilo y anatasa, siendo las dos últimas las más efectivas en tratamientos de aguas residuales. La foto-activación conduce a la formación de especies reactivas como huecos en la banda de valencia y electrones que migraron a la banda de conducción. Los huecos fotogenerados dan lugar a las

reacciones de foto-oxidación, mientras que los electrones de la banda de conducción dan lugar a las reacciones de foto-reducción, como se representa en la Figura.

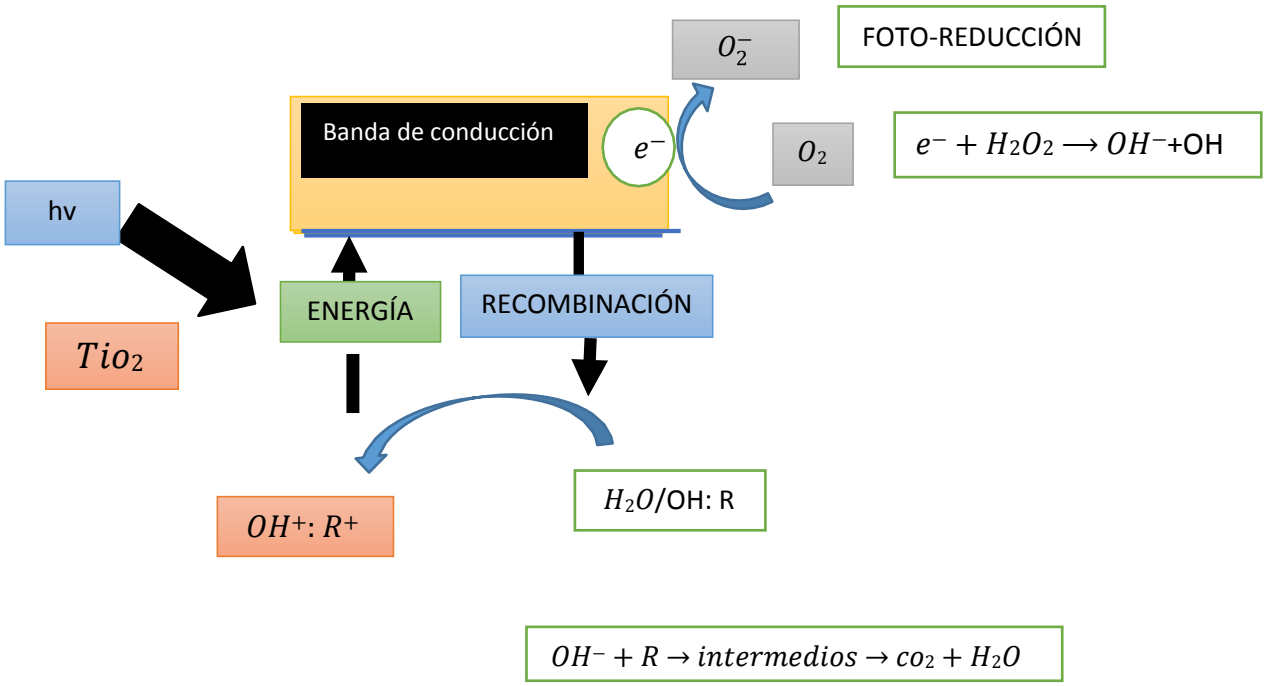


Figura 2. Proceso de oxidación con semi-conductores

3.4. SISTEMAS DE DEGRADACIÓN DEL CITOSTÁTICO CARBOPLATINO

3.4.1. DEGRADACIÓN DE CARBOPLATINO MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA EN PRESENCIA DE RADIACIÓN UV, H_2O_2 Y Fe^{2+}

La fotocatálisis homogénea (Fenton y foto-Fenton) son procesos de fotocatálisis homogénea, de forma que se puede describir como el proceso de una combinación de peróxido de hidrógeno y Fe (II) en un medio ácido, con lo cual se prepararía el experimento añadiendo una muestra del agua con el contaminante a una concentración de 10 mg.L^{-1} en un matraz aforado de 250 ml, posteriormente añadir en tres cajas Petri donde se colocaría 50 ml de la disolución madre y añadiendo 6uL de peróxido de hidrógeno respectivamente, a un pH de 3 siendo está controlada estrictamente, s luego de 2 a 3 horas se expondría las muestras a radiación UV empleando dos lámparas de 50 w para luego analizarlas en el espectrofotómetro en un antes y después del procedimiento de oxidación avanzada

3.4.2. DEGRADACIÓN DEL CARBO-PLATINO MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON TiO_2, /H_2O_2 /UV

El método que emplea la Fotocatálisis heterogénea es una técnica muy eficiente e innovadora, el cual ha demostrado un interés muy significativo para la comunidad científica al ser utilizada muy frecuentemente para la eliminación de compuestos contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Para realizar los procesos oxidativos avanzados se puede preparar un reactor artificial con luz ultravioleta (UV). Empleando un reactor y tres lámparas UV-C de 40w cada una.

En la propuesta para realizar el experimento empleando TiO_2 como catalizador de la reacción de degradación, se podría añadir 50 mL de la disolución del contaminante emergente Carbo-platino, en cajas Petri en las que se podrán situar 1, 3 y 5 mg de óxido de titanio con un tiempo de exposición de 2 a 3 horas y así poder analizar el tipo de exposición y concentración más efectivo para la degradación del fármaco, sin embargo, cabe recalcar que al utilizar catálisis heterogénea en tratar aguas residuales hospitalarias, en una situación a gran escala, sería preciso invertir en el catalizador y, también, en una operación de filtración que lleva a un costo elevado para realizar este proceso.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En perspectiva, al momento de investigar los métodos para la eliminación del citostático Carbo-platino se ha podido evidenciar la eficacia de los mismos con respecto a la eliminación de este tipo de contaminante emergente a través de dos procedimientos de oxidación avanzada los cuales requieren la utilización de dos tipos de catalizadores. Para alcanzar una fotocatálisis homogénea (Fe^{+2}) se requiere la utilización del catalizador, el reactivo hierro y para alcanzar la fotocatálisis heterogénea es necesario la utilización del catalizador (iO_2). Los dos procedimientos tienen una similitud, al momento de realizar la oxidación avanzada ya que en los dos procesos se utiliza radiación solar

Una ventaja al momento de utilizar el proceso Foto-Fenton con relación al TiO2 es que tiene más sensibilidad a la luz de incluso 580 nm longitud de onda, lo que supone que el aprovechamiento de energía solar es superior con respecto al TiO2.

El proceso de Foto-Fenton además tiene como ventaja que la profundidad de penetración de la luz sea más grande, ya que el catalizador al estar en un estado de disolución permite la penetración de la luz en función de la concentración del hierro añadido. En cambio en el caso del TiO2, al ser un sólido en suspensión, la transferencia de luz en el centro de la reacción es muy complicada y a veces se convierte en un limitante al momento de diseñar reactores fotocatalíticos. A su vez en la reacción del foto-Fenton, los reactores se pueden diseñar con más independencia, ajustando la concentración de hierro a aquella que admita una mayor absorción de la luz, en función del diámetro interno del fotorreactor. Es necesario recalcar que la concentración necesaria de TiO2, para un fotorreactor fijo, no sólo es cuestión de su diámetro sino también del pH (el cual afecta esencialmente a la aglomeración de partículas), de la fuerza iónica del agua (que también tiene relación con la aglomeración de partículas), de la velocidad de agitación del reactor, de la intensidad de iluminación, etc. Todo esto lleva a que los trabajos publicados con anterioridad tengan el inconveniente de la concentración del catalizador por lo ya mencionado antes. Sin embargo, en el caso del foto-Fenton, todo esto es más sencillo, ya que se puede controlar la absorción de luz mediante el ajuste correcto de la concentración de hierro. También, como es una solución homogénea, la relación entre el contaminante emergente y el agente oxidante es mejor. Las desventajas al usar este método son el bajo pH solicitado (que sea menor a 3, para evitar la precipitación de hidróxidos de hierro) y la necesidad de separar el hierro después de que la reacciona ya sido concluida.

Se demuestra que mediante el proceso foto-Fenton se pueden destruir, fenoles clorados y plaguicidas en medio acuoso, a su vez también la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) en diferentes aguas residuales. Este método ha sido utilizado satisfactoriamente para tratar aguas residuales, contaminadas con compuestos aromáticos nitrogenados, ácidos carboxílicos, colorantes, contaminantes fenólicos y para la degradación de plaguicidas disueltos en agua. En general la degradación de la mayoría de contaminantes varía solamente en el tiempo de exposición a la iluminación en función de la resistencia que tiene la sustancia a degradar.

El tratamiento con esta tecnología depende del flujo energético, y su concentración normalmente va a estar en el rango de varias decenas de m^3 por día. En el caso de usar radiación solar, se podrán tratar residuos que se adapten a un modo de recirculación con cargas discontinuas, lo que implica que el tratamiento debe ser separado e independiente del proceso de generación de agua residual. El proceso de fotocatálisis puede ser aplicado, entre otros, al tratamiento de los siguientes contaminantes emergentes: Colorantes, Compuestos halogenados, Plaguicidas y Compuestos fenólicos.

Se evidencia en proyectos realizados con anterioridad la eficiencia de cada uno de los procedimientos tanto fotocatálisis homogénea como heterogénea un porcentaje de remoción del contaminante de 60% a 90% de las aguas residuales hospitalarias, siendo así la fotocatálisis homogénea una opción más viable por los argumentos descritos anteriormente

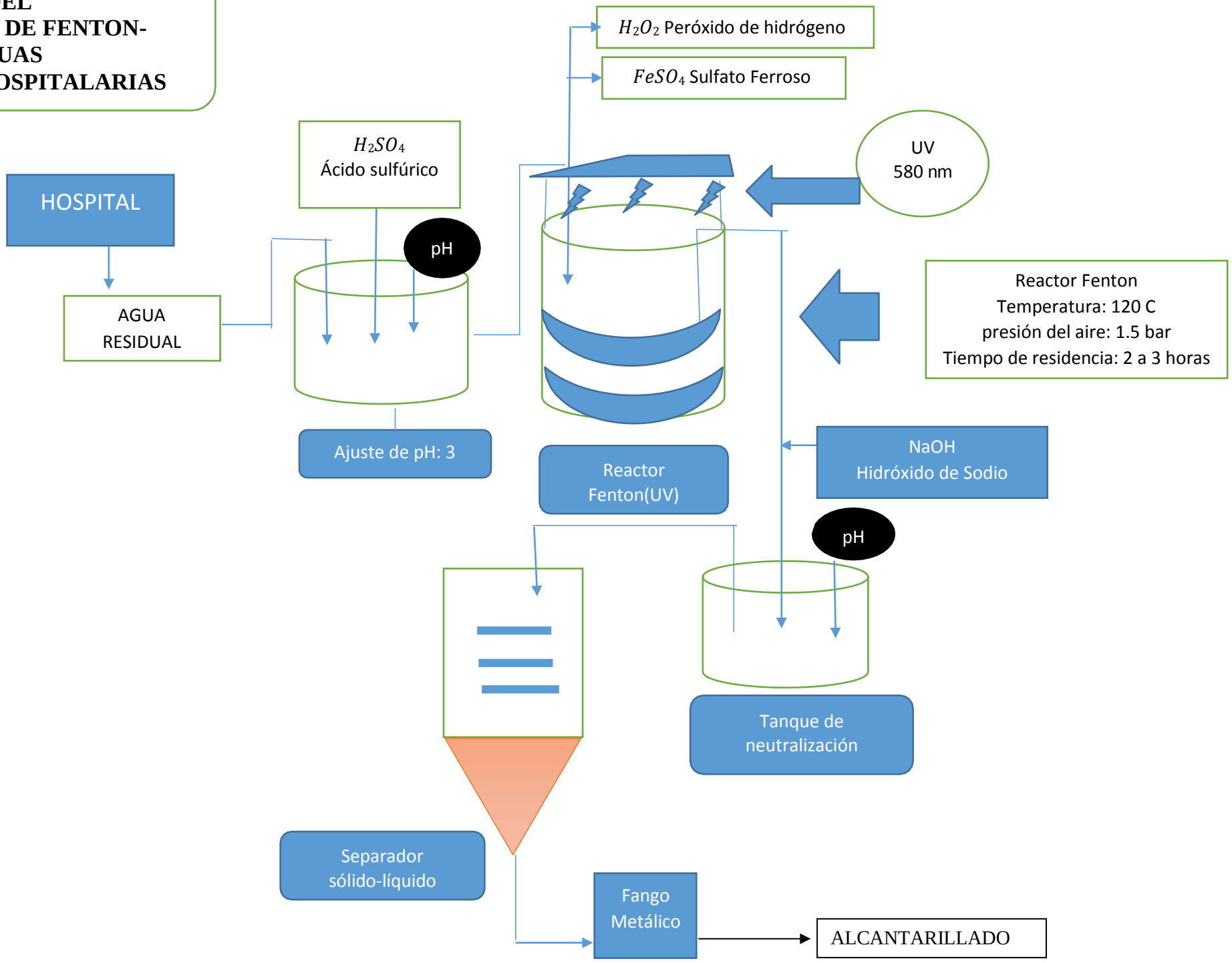
A pesar de la amplia investigación que se ha realizado dentro de este proyecto de la fotocatálisis, se ha visto el gran potencial de esta técnica para el tratamiento de desinfección del agua. Todo lo expuesto anteriormente se ha deducido que mediante estas técnicas propuestas se puede decir que puede tratar una amplia gama de compuestos presentes en el agua y en esta investigación se puede evidenciar teóricamente le tratamiento de aguas contaminadas con contaminantes emergentes como lo es el compuesto Carbo-Platino del grupo de los compuestos orgánicos no biodegradables en el agua. Dentro de esta investigación teórica se ha comprobado que se puede tratar los compuestos orgánicos que se llega a la mineralización del carbono orgánico que existe presente en el agua, en este caso no es necesario la mineralización del compuesto carbono ya que se biodegrada dentro del proceso que permite una viabilidad para tratamientos biológicos posteriores como tratamiento terciario.

Durante el proceso de oxidación de la materia orgánica puede generarse y desaparece en diversos compuesto intermedios que pueden difícilmente ser tratados de analizar para llegar a una total mineralización del contaminante, consecuentemente para poder verificar la viabilidad de este procedimiento de fotocatálisis como una técnica de degradación de contamínate es imperativo demostrar la eliminación no solo de compuestos iniciales sino también de compuestos intermedios que es este caso el resultado pueden ser la formación de compuestos inorgánicos de Carbo-platino que se pueden tratar con otros procedimientos terciarios para desechar elementos no deseables dentro del tratamiento inicial.

La dificultad dentro de este proceso es el seguimiento de los productos que se generen dentro de la fotocatálisis por lo cual es necesario el seguimiento del carbono orgánico total, obteniendo concentraciones concordantes de los compuestos remanentes. En definitiva, en la aplicación del procedimiento de oxidación avanzada se tiene que tener en cuenta los valores importantes de los porcentajes de carbón orgánico total que se forma en CO_2. Como procedimiento final es la mineralización del carbono orgánico total que consecuentemente asegura que tanto el contaminante como cualquier otro producto intermedio que se forma dentro de este proceso foto catalítico se han degradado. Se puede decir que para un seguimiento del proceso foto catalítico podría ser aceptable dentro de los parámetros determinados si el producto es un producto estable o inocuo si las características como: demanda orgánica de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, carbono total, determinación de productos inorgánicos y la toxicidad son previamente parámetros que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por los protocolos de seguridad del país en el que se encuentra.

Adicional a esto es recomendable utilizar otro tratamiento terciario ya que al momento de descomponer el Carbo-platino aún podría haber residuos de platino en las aguas residuales, se podría utilizar un tratamiento ecológico el bagazo de caña como bioabsorbente ya que tiene una eficacia de remoción de hasta un 80% de metales pesados por lo cual sería un tratamiento adicional para tratar el platino residual que pueden quedar en las aguas tratadas después de la oxidación avanzada.

4.1. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DE FENTON-FENTON EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS



5. CONCLUSIONES

- El proceso de fotocatálisis homogénea sería un procedimiento adecuando y de bajo costo para un tratamiento terciario el cual eliminaría, en teoría, un porcentaje del 60% al 90% del contaminante Carbo-platino.

- La fotocatálisis heterogénea con TiO_2 tiene una gran similitud con la fotocatálisis homogénea con Fe^{2+}, pero al momento del procedimiento de oxidación avanzada utilizando fotocatálisis heterogénea (iO_2) podrían formarse radicales con titanio siendo otro compuesto tóxico al momento de tratar estas aguas.

- Según los esquemas teóricos de tratamientos se observó una eficiencia al momento de aplicar la fotocatálisis homogénea como posible propuesta para una mayor eficiencia al momento de realizar la oxidación avanzada y aplicarla en el compuesto citostato carboplatino.

- Dentro de los parámetros permisibles se encuentran los valores a ser analizados de DBO, DQO Y Carbono Orgánico Total.

6. RECOMENDACIONES

- Se podría realizar un tratamiento adicional dado el caso de que en el agua tratada se haya quedado platino residual posterior al tratamiento con la fotólisis homogénea para una correcta descarga de esta agua residual hospitalaria

- Implementar la fotocatálisis homogénea (Fe^{2+}) la cual es un tratamiento no convencional en centros hospitalarios que utilizan como tratamientos clínicos a ciertos pacientes el compuesto citostático carboplatino.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arana Belloso, D. B. (2010). *Agentes químicos en el ámbito sanitario.* Madrid: ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA DEL TRABAJO.

Bassi, M. D., & J, M. (2003). Mutagenicity of antineoplastic drug residues treated in health care waste autoclave. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 71, p. 170-175.

Campos, J. A. (13 de septiembre de 2019). *Los productos de cuidado personal pueden contaminar el ambiente y afectar su salud*. Recuperado el 07 de agosto de 2020, de Universidad de Costa Rica: https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/09/13/los-productos-de-cuidado-personal-pueden-contaminar-el-ambiente-y-afectar-su-salud.html

Edison GilPavas, V. R. (2011). *Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos.* Medellin: Dirección de Investigación y Docencia, Universidad EAFIT.

Eiteil, A., M., S., & Kummerer, K. (07 de Agosto de 2000). *Instituto para Medicina Ambiental e Higiene en los Hospitales Manejo Citostáticos.* Obtenido de ISOPP y Bristol-Myers Squibb GMBH, Munich: www.uniklinikfreiburg.de/iuk/live/informationsmaterial/zytobrospan.pdf>

Eva, &. O. (2014). MICROCONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: TIPOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(2),1-20. Recuperado el 12 de agosto de 2020, de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3236/323631115001

Garcés Giraldo, L. F. (2004). La fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *LASALLISTA DE INVESTIGACION, VOL. I No. I*, 83-92.

Gil, M. J. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ limpia*, 7(2).

Gonzalez, N. D. (2013). *ESTUDIO DE LA ELIMINACION DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACION AVANZADOS.* Barcelona: Universitat de Barcelona.

Kummerer, k. (2001). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic, aids and disinfectants into wastewater by hospital in relation to other sources-a review. *Chemosphere*, 45, p. 957-969.

Medlineplus.gov. (07 de agosto de 2020). *Medlineplus.gov*. Obtenido de Pesticidas: Medlineplus En Español: https://medlineplus.gov/spanish/pesticides.html

Puñuela, G. (2016). Destoxificación solar de aguas mediante la fotocatálisis o fotosensibilización. *Revista Facultad de Ingenieria*, 24-28.

Ramos- Alvariño, C. (2013). Comportamiento de los indicadores sanitarios y ecotoxicológicos de las aguas residuales con trazas de medicamentos. *Revista Cubana de Química, XXV(2)*, 180-205. Recuperado el 12 de agosto de 2020, de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4435/443543735008

Ramos, M. (2017). Fotocatálisis solar para la degradación de contaminantes: mejora de la actividad del tio2 con luz solar y uso de materiales naturales como fotocatalizadoreso soportes fotocatalíticos. *Universidad de la Laguna*.

Rodríguez Morales, I. V. (2004). Citostáticos: medicamentos riesgosos. Revista Cubana de Medicina. 43(2-3) . Recuperado el 07 de agosto de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232004000200009&lng=es&tlng=es.

Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Per. Quím. Ing. Quím*, 30-38.

Sarai Bes, A. M. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidacion avanzada aplicados al tratamientos de aguas residuales industriales.* España: CYTED. Obtenido de CYTED.

Sepúlveda C., L., Palma T., C., & Contreras V., E. (2006). *Fotooxidación con UV/H2O2 de aguas residuales provenientes de una planta textil.* Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.

Sirtori, C. L. (2010). *Evaluación analítica de procesos de transformación biológica, fotoquímica y fotocatalítica de fármacos en agua.* Almeria: Ciemat.

Valenzuela Larrea, D. (2019). *Tratamiento de las aguas residuales de una industria farmacéutica de la ciudad de Quito mediante procesos de oxidación avanzada.* Carrera de Química. Quito: UCE.