



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Análisis de laboratorio de aguas residuales
contaminadas con Amoxicilina mediante radiación
UV y Fotocatálisis

Reporte de titulación de residencias

INGENIERÍA AMBIENTAL

Especialidad:

Sustentabilidad y Tecnologías del Agua

Presenta(n): Diego Gerardo Delgadillo Reyes

Matricula: 201920405

Asesora: M.S.A Ramírez Rivera Eréndira

Coacalco de Berriozábal, marzo 2025

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi asesora de titulación La Ingeniera Ramírez Rivera Eréndira por aceptar trabajar conmigo y su asesoramiento para presentar mi proyecto de titulación.

Al profesor e Ingeniero Trejo Chavero Octavio, que fue con quien inicié el proyecto dentro de mis residencias profesionales.

Mi compañera de laboratorio Gasca Miranda Iran, quien es mi amiga y compañera de laboratorio desde clases y residencias profesionales.

A mi familia que me brindaron las herramientas para que este momento fuera posible.

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo) y al área de Ingeniería Ambiental; Que me dieron la formación académica para realizar el presente proyecto.

RESUMEN

Se denomina antibióticos al fármaco que tiene la capacidad de eliminar microorganismos patógenos presentes en humanos. Considerando esto en la actualidad los antibióticos se convirtieron en un problema emergente en las aguas residuales debido a una inadecuada disposición final de ellos y por la excreción a través de la orina y heces fecales.

Los antibióticos no pueden ser eliminados en las plantas de agua residual ya que se consideran espacios adecuados para la proliferación de microorganismos. Por lo tanto, después de un proceso de investigación para la eliminación de los antibióticos en este caso la Amoxicilina en el agua residual de zonas urbanas (casa-habitación).

Se determinó el proceso de tratamiento del agua mediante radiación UV y Fotocatálisis el cual consistió en pruebas del agua problema sometidas a intervalos de tiempo en el tratamiento, todo el proceso fue realizado dentro de un proceso de análisis teórico en el laboratorio del área de Ingeniería ambiental.

Se evaluó la eficiencia del tratamiento mediante pruebas de DQO y donde se realizó el montaje de un reactor donde se sometieron las pruebas para la eliminación de la Amoxicilina con radiación UV y Fotocatálisis sometiendo el agua problema a diferentes intervalos de tiempo para comprobar la efectividad del método de eliminación.

Finalmente se valoró el sistema de tratamiento con pruebas de germinación determinando el porcentaje de semillas que fueron capaces de germinar bajo condiciones controladas dentro del laboratorio.

Antibiotics are the drug that has the ability to eliminate pathogenic microorganisms present in humans. Considering this, antibiotics have now become an emerging problem in wastewater due to inadequate disposal of antibiotics and excretion through urine and feces. Antibiotics cannot be eliminated in wastewater plants as they are considered suitable spaces for the proliferation of microorganisms. Therefore, after a research process for the elimination of antibiotics in this case Amoxicillin in wastewater from urban areas (home-room). The water treatment process was determined by UV

radiation and Photocatalysis which consisted of tests of the problem water subjected to time intervals in the treatment, the entire process was carried out within a process of theoretical analysis in the laboratory of the Environmental Engineering area. The efficiency of the treatment was evaluated by COD tests and where the assembly of a reactor was carried out where the tests for the elimination of Amoxicillin with UV radiation and Photocatalysis were subjected subjecting the test water to different time intervals to check the effectiveness of the elimination method. Finally, the treatment system was evaluated with germination tests, determining the percentage of seeds that were able to germinate under controlled conditions within the laboratory.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	2
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	9
CAPÍTULO I	10
INTRODUCCIÓN	11
JUSTIFICACIÓN	15
PROBLEMA PARA RESOLVER	18
OBJETIVO	20
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	23
FOTOCATÁLISIS.	24
CAPÍTULO III	27
DESARROLLO EXPERIMENTAL	28
EL REACTOR	30
CAPITULO IV	32
DISCUSION DE RESULTADOS	33
CINÉTICA DE DEGRADACIÓN	34
DEGRADACIÓN CON UV + FOTOCATÁLISIS	35
PRUEBAS TOXICOLÓGICAS	36

CONCLUSIONES	47
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	49
GLOSARIO	50
BIBLIOGRAFÍA	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 imagen satelital del tecnológico de estudios superiores de coacalco (extraida de google maps).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Figura 2 organigrama de la empresa.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Figura 3 mapa de ubicación del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Figura 4 mapa global de la abundancia de la resistencia a los antibióticos.	16
Figura 5 mecanismo de formación del par electrón-hueco en la superficie de TiO_2	25
Figura 6 diagrama de flujo del desarrollo experimental.	28
Figura 7 amoxicilina y sulfato ferroso moniacal	28
Figura 8 prueba de Demanda Quimica de Oxigeno.....	29
FIGURA 9 parrilla magnética.....	30
Figura 10 lampara de 13w luz uv sumergible en agua 110v	30
Figura 11 barra magnética sumergible	31
Figura 12 foto del reactor	33
Figura 13 revelador de DQO que se introduce en el multiparámetro	34
Figura 14 % de degradación a una concentración de 100ppm¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 15 lentejas extraídas de los tubos de ensayo después de 10 días de cuidados	37
Figura 16 comparación del crecimiento de semillas rociadas de agua tratada con radiación uv...	38

Figura 17 prueba del agua tratada	39
Figura 18 comparación del crecimiento de semillas rociada de agua sin tratamiento (agua con amoxicilina a 100 ppm)	40
Figura 19 prueba del agua sin tratar.....	40
Figura 20 comparación del crecimiento de semillas rociada de agua destilada.....	41
Figura 21 prueba solo con agua destilada.....	43
Figura 22 % de degradación / el tiempo de exposición.....	44
Figura 23 gráfica de porcentaje de crecimiento de las semillas de lentejas.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 24 las lentejas después de todo el proceso de las más grandes a las más pequeñas	46
Figura 25 acercamiento de las lentejas extraídas de las pruebas	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 marcas Y Fármacos De Venta (Amoxicilina) -----	11
Tabla 2 Comparación De La Degradación De Amoxicilina A 100 Ppm Con Tratamiento De Radiación Uv A Diferentes Tiempos -----	34
Tabla 3 Grafica De Porcentaje De Degradación De Amoxicilina A 100 Ppm Con Tratamiento De Radiación Uv. -----	34
Tabla 4 Comparación De La Degradación De Amoxicilina A 100 Ppm Con Tratamiento De Radiación Uv Y Fotocatálisis A Diferentes Tiempos -----	35
Tabla 5 Comparación Del Crecimiento De Semillas Rociada De Agua Tratada Con Radiación Uv -	38
Tabla 6 Comparación Del Crecimiento De Semillas Rociada De Agua Sin Tratamiento (Agua Con Amoxicilina A 100 Ppm)-----	40
Tabla 7 Comparación Del Crecimiento De Semillas Rociada De Agua Destilada -----	41

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Según la RAE un antibiótico es la “sustancia química producida por un ser vivo o fabricada por síntesis, capaz de paralizar el desarrollo de ciertos microorganismos patógenos, por su acción bacteriostática, o de causar la muerte de ellos, por su acción bactericida”.

La amoxicilina es un antibiótico de amplio espectro que pertenece a la familia de las penicilinas. utiliza para tratar una variedad de infecciones bacterianas como Infecciones del oído, Sinusitis, Faringitis, Estreptocócica, Infecciones de la piel, Infecciones de tratamiento urinario y Neumonía, entre otras. funciona al interferir con la formación de la pared celular de las bacterias, lo que lleva la muerte.

la Amoxicilina se prescribe comúnmente en forma de tabletas, cápsulas o suspensión oral y es uno de los antibióticos más recetados en el mundo.

Tabla 1 Marcas y fármacos de venta (Amoxicilina)

Marca Farmacéutica	Nombre Comercial
GlaxoSmithKline	Amoxil
Sandoz	Trimox
Pfizer	Moxatag
Teva Pharmaceuticals	Amoxicot
Novartis	Dispermox
Wyeth	Wymox
Bimeda	Biomox
Aurobindo Pharma	Polymox

El mercado de medicamentos es fundamental para la competitividad. Por el lado de la demanda, los medicamentos son uno de los insumos básicos para ofrecer servicios de salud efectivos. Son necesarios para curar o controlar la mayoría de las enfermedades.

Los antibióticos representan un grupo creciente de contaminantes orgánicos en las aguas residuales debido al uso masivo de los mismos en los últimos años, Un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) advierte que la población mundial está expuesta, sin saberlo, a agua contaminada por antibióticos, lo que podría desencadenar el aumento de patógenos resistentes a los medicamentos y potencialmente propiciar otra pandemia mundial. El 80% de las aguas residuales del mundo no se tratan, e incluso en los países desarrollados las instalaciones de tratamiento a menudo no son capaces de filtrar los organismos peligrosos. Los autores del informe advierten que esto podría generar super bacterias que podrían eludir la medicina moderna y desencadenar una pandemia.

La resistencia a los antimicrobianos se produce cuando los microbios, como las bacterias, los virus, los parásitos y los hongos, evolucionan para hacerse inmunes a los fármacos a los que antes eran susceptibles. Cuanto más expuestos estén los microbios a los productos farmacéuticos, más probabilidades tendrán de adaptarse a ellos.

"Los antibióticos y otros fármacos salvan vidas, pero su comportamiento ambiental en el curso de nuestras aguas es importante. Deben utilizarse con cuidado para evitar la resistencia a los antimicrobianos, lo que supone riesgos sociales, medioambientales y financieros para las empresas y la sociedad en general", dijo Leticia Carvalho, jefa de la Subdivisión de Aguas Marinas y Dulces del PNUMA.

Abstract

According to the RAE, an antibiotic is the "chemical substance produced by a living being or manufactured by synthesis, capable of paralyzing the development of certain pathogenic microorganisms, by its bacteriostatic action, or of causing their death, by its bactericidal action".

Amoxicillin is a broad-spectrum antibiotic that belongs to the penicillin family. It is used to treat a variety of bacterial infections such as Ear Infections, Sinusitis, Pharyngitis, Streptococcus, Skin Infections, Urinary Treatment Infections, and Pneumonia, among others. It works by interfering with the formation of the cell wall of bacteria, leading to death.

Amoxicillin is commonly prescribed in the form of tablets, capsules, or oral suspension and is one of the most prescribed antibiotics in the world.

Table 1 Brands and drugs sold (Amoxicillin)

Marca Farmacéutica	Nombre Comercial
GlaxoSmithKline	Amoxil
Sandoz	Trimox
Pfizer	Moxatag
Teva Pharmaceuticals	Amoxicot
Novartis	Dispermox
Wyeth	Wymox
Bimeda	Biomox
Aurobindo Pharma	Polymox

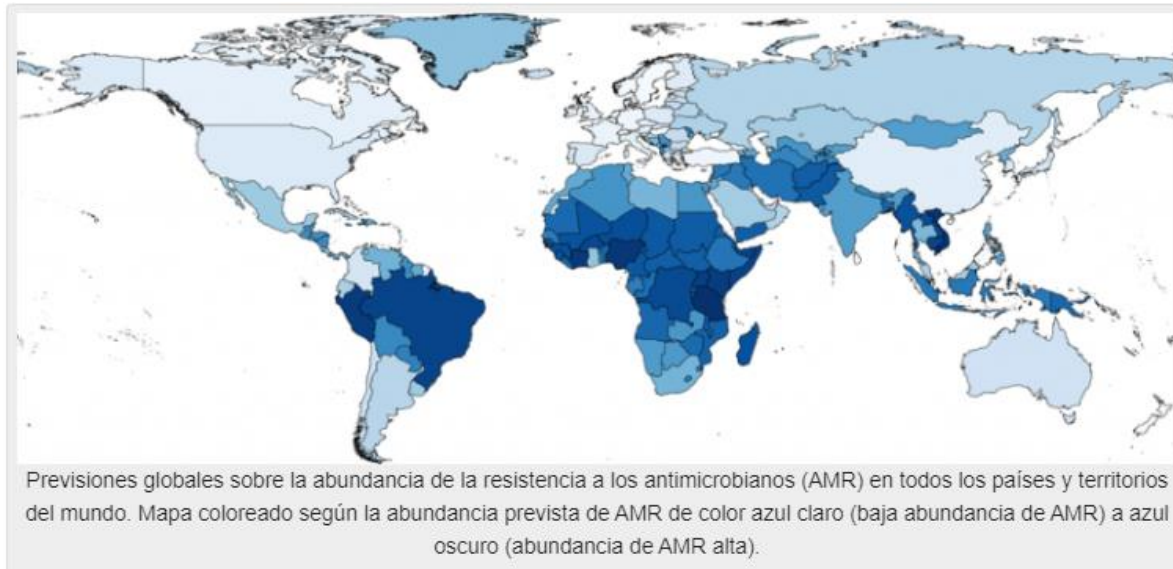
The medicines market is essential for competitiveness. On the demand side, medicines are one of the basic inputs to offer effective health services. They are needed to cure or control most diseases. Antibiotics represent a growing group of organic pollutants in wastewater due to the massive use of antibiotics in recent years, A report by the United Nations Environment Programme (UNEP) warns that the world's population is unknowingly exposed to water contaminated by antibiotics, which could trigger the rise of drug-resistant pathogens and potentially lead to another global pandemic. 80% of the world's wastewater is untreated, and even in developed countries treatment facilities are often unable to filter out dangerous organisms.

The report's authors warn that this could spawn superbugs that could elude modern medicine and trigger a pandemic. Antimicrobial resistance occurs when microbes, such as bacteria, viruses, parasites, and fungi, evolve to become immune to drugs to which they were previously susceptible. The more exposed microbes are to pharmaceuticals, the more likely they are to adapt to them. "Antibiotics and other drugs save lives, but their environmental behavior in the course of our waters is important. They must be used carefully to avoid antimicrobial resistance, which poses social, environmental and financial risks to businesses and society at large," said Leticia Carvalho, Chief of UNEP's Marine and Freshwater Branch.

JUSTIFICACIÓN

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) es un problema de salud pública cada vez más complejo y se considera como una de las mayores amenazas en todo el mundo. El desarrollo de la RA en los patógenos bacterianos es una consecuencia esperada de la adaptación evolutiva, debido a la presencia de este tipo de contaminantes, los antibióticos, en variedad de nichos ecológicos. Además, hay múltiples factores asociados con su origen y diseminación, entre ellos, el uso desmedido y poco regulado de los antibióticos en la medicina humana y veterinaria, así como en la agricultura, la ganadería y la industria. De hecho, recientemente se ha indicado el papel del ambiente como reservorio para genes de RA y bacterias resistentes a antibióticos. En este sentido, el enfoque para contener y controlar este problema tan complejo involucra de forma necesaria a diversas áreas como la medicina, la veterinaria, las ciencias ambientales y sectores de la industria y la economía. En este artículo, se realiza una descripción tanto del problema de la RA y sus elementos causales, como del enfoque multidisciplinario que ha sido propuesto para su manejo en el ámbito global. Se detalla también cómo la RA afecta el desarrollo humano sostenible conforme a la Agenda 2030 formulada por la ONU, en el cumplimiento de algunos de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

Figura 1 Mapa global de la abundancia de la resistencia a los antibióticos.



Utilizando datos del índice de desarrollo humano desde el año 2000 hasta 2016 del Banco Mundial de Datos, los investigadores han elaborado un mapa mundial que predice los niveles de resistencia antimicrobiana en poblaciones sanas de 259 países diferentes. Teniendo en cuenta datos sobre los factores socioeconómicos, de salud y del medio ambiente en cada país, las estimaciones sugieren que los Países Bajos, Nueva Zelanda y Suecia tendrían los niveles más bajos de resistencia, mientras que Tanzania, Vietnam y Nigeria tendrían los niveles más altos.

SE han realizado diferentes proyectos donde buscan atajar el creciente problema de los residuos farmacéuticos en el agua y como implementar soluciones en plantas residuales. Por ejemplo, en el siguiente estudio: “Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) han sido consideradas como puntos críticos de residuos farmacéuticos, como antidepresivos, antimicrobianos e ingredientes activos de medicamentos de venta libre. A pesar de la evidencia de los efectos eco toxicológicos de estos micro contaminantes en los peces expuestos en los sistemas acuáticos, actualmente no existe una regulación en términos de los niveles de residuos farmacéuticos permitidos para su liberación en el medio ambiente. (Sandra Rodriguez, 2022)

Dependiendo del grado de tratamiento empleado en las EDAR, la eliminación de los residuos farmacéuticos es muy variable.”

Las concentraciones de los productos farmacéuticos se midieron mediante cromatografía líquida/espectrometría de masas en múltiples puntos durante el curso del tratamiento. Además, también se evaluaron los efectos eco toxicológicos de los efluentes de la PTAR a partir de los efectos conductuales en larvas de pez cebra. Se encontró que el proceso de tratamiento biológico proporcionó una remoción negativa a baja (<50%), mientras que el carbón activado y la ozonización proporcionaron una alta remoción (>95% de remoción general) para 14 de 15 y 9 de los 11 compuestos detectados en los afluentes de las PTAR, respectivamente. En particular, los efluentes finales de las siete EDAR en este estudio no mostraron alteraciones significativas en el comportamiento del pez cebra, lo que indica que, a pesar de las diferencias en las eficiencias de eliminación, todos los procesos de tratamiento investigados son suficientes para prevenir efectos biológicos a corto plazo.

El punto de revisar las diferentes publicaciones de estudios realizados por diferentes instituciones académicas, científicas, comerciales y asociaciones interesadas por el medio ambiente; es como han aportado su conocimiento a la problemática de contaminación acuática en el mundo. “el mismo problema con diferentes soluciones”.

Si bien les funciona para sus entornos y ecosistemas, pero no podemos replicar sus métodos porque es posible que no nos funcionen de la misma manera. Creo que mi solución puede aportar al entorno en el que me rodea la sociedad y a su vez puede evolucionar en diferentes formas y presentaciones.

PROBLEMA PARA RESOLVER

Los contaminantes emergentes constituyen un problema porque al ser normalmente resultado de la síntesis química artificial, los microorganismos pueden no contar con el mecanismo para degradarlos y algunos pueden ser inclusive tóxicos, pues muchos se pueden identificar como contaminantes emergentes a los antibióticos, cabe mencionar que numerosos estudios a nivel global han detectado cambios en la estructura de comunidades microbianas (específicamente afectaciones a las funciones ecológicas microbianas) por la presencia de antibióticos en el medio acuático. Además del impacto en las poblaciones microbianas, los antibióticos también inducen efectos tóxicos sobre micro-invertebrados, y malformaciones en peces y anfibios.

Los Antibióticos pueden dar lugar a la aparición de bacterias resistentes, pero también a que dichos antibióticos pueden afectar negativamente a los ecosistemas y a los organismos que los habitan. Los antibióticos empleados para el consumo humano terminan llegando a las plantas de tratamiento de agua residual que desafortunadamente, los antibióticos no son eliminados, en donde típicamente se usan sistemas biológicos tales como lodos activados, que son ineficientes para la degradación de antibióticos, que, de hecho, estos sistemas convencionales son considerados en la actualidad como espacios propicios para la proliferación de microorganismos resistentes debido al contacto directo y continuo con antibióticos.

Pero si bien se tienen que considerar los siguientes aspectos en los que podría afectar la presencia de la Amoxicilina cuando se encuentra en contacto con la tierra:

1. **Efecto en la Microbiota del Suelo:** La amoxicilina puede afectar la microbiota del suelo, es decir, las bacterias beneficiosas que viven en el entorno radicular de las plantas. Muchas de estas bacterias son cruciales para procesos como la fijación de nitrógeno y la descomposición de materia orgánica, que son vitales para la nutrición de las plantas. Al alterar estas comunidades bacterianas, la amoxicilina podría indirectamente afectar la salud y el crecimiento de las plantas.

2. **Fisiología Vegetal Directa:** Aunque las plantas no tienen los mismos mecanismos bioquímicos que las bacterias para sintetizar pared celular (diana principal de la amoxicilina), algunos estudios sugieren que ciertos antibióticos pueden influir en la fisiología de las plantas, posiblemente alterando el metabolismo secundario o interfiriendo con ciertos procesos hormonales.

3. **Toxicidad Potencial:** La amoxicilina podría tener efectos tóxicos directos sobre las plantas si se absorbe en grandes cantidades. Estos efectos pueden incluir el amarillamiento de las hojas, crecimiento reducido y estrés general.

4. **Desarrollo de Resistencia:** Aunque no afecta directamente a las plantas, el uso de antibióticos en el medio ambiente puede contribuir al desarrollo de resistencia en bacterias fitopatógenas (bacterias que causan enfermedades en plantas). Esto podría complicar la gestión de enfermedades en cultivos a largo plazo.

OBJETIVO

Evaluar la eficacia de dos tecnologías emergentes, la radiación ultravioleta (UV) y la fotocátalisis, en la remoción de amoxicilina, un antibiótico comúnmente encontrado en aguas residuales.

Este estudio se llevó a cabo a nivel de laboratorio, utilizando muestras representativas de aguas residuales contaminadas con amoxicilina. Se utilizaron condiciones experimentales controladas para simular situaciones realistas de tratamiento. Se utilizaron diferentes dosis de radiación UV y catalizadores para evaluar su efecto en la degradación de la amoxicilina y la reducción de su concentración en el agua, aplicados en pruebas de germinación como agente de experimentación. Analizando su crecimiento expuesto al agua contaminada y al agua que estuvo baja al tratamiento fisicoquímico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un reactor a nivel laboratorio para emitir la radiación UV en un espacio controlado y aislado de la propia vista como de terceras personas cerca del área de trabajo.
2. Evaluar pruebas de foto degradación para la eliminación de Amoxicilina probando el “Método de usar radiación UV y fotocátalisis”
3. Evaluar de eficiencia del tratamiento aplicado en pruebas de Demanda Química de Oxígeno (DQO)
4. Evaluar del sistema de tratamiento mediante prueba de germinación para comprobar la efectividad del Agua, a su vez mostrar la descontaminación en este caso Amoxicilina (como fármaco/contaminante presente).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La fotocatalisis es una tecnología amigable al medio ambiente en la cual se emplean catalizadores soportados para la mineralización de contaminantes orgánicos en solución acuosa. El área superficial es un factor determinante en su eficiencia.

El dióxido de titano (TiO_2) y el óxido de zinc (ZnO) son utilizados como foto catalizadores, a pesar de los diversos estudios existen diferentes factores que pueden afectar su eficiencia, como es el método de preparación y purificación. El óxido de Zinc (ZnO) es un semiconductor con banda de conducción de 3.37 eV y una energía de enlace (E_g) de 60 meV, debido a estas características se puede esperar una emisión por excitación a temperatura ambiente con baja energía. (Angeles, 2019)

Es un material no toxico con distintas aplicaciones que van desde la fotocatalisis hasta su implementación en equipos ópticos.

Las nano estructuras de ZnO son aplicadas en las reacciones catalíticas debido a su alta área superficial. Algunas de sus propiedades físicas y químicas cambien en función de su morfología, debido a esta característica la síntesis de ZnO es investigada en términos de su morfología. La aplicación en nano láser y material semiconductor representan amplias aplicaciones potenciales. (Angeles, 2019)

Recientemente se ha utilizado la radiación de microondas para producir óxidos, hidróxidos y sulfuros; la técnica es relativamente simple, amigable al medio ambiente y sin problemas en los gradientes de temperaturas, así mismo se reducen los tiempos en comparación con el tratamiento hidrotérmico. Otra de las ventajas es que se puede controlar la morfología de las partículas. (Angeles, 2019)

El tratamiento hidrotérmico puede ser llevado a cabo en conjunto con radiación de microondas, este método hibrido de preparación se ha llevado a cabo en la síntesis de nanocompositos oxido de grafeno/ZnO. La exposición a la radiación juega un papel fundamental en la síntesis y mejora las propiedades foto catalíticas produciendo estructuras cristalinas bien definidas, porosidad y morfología, de la misma manera se

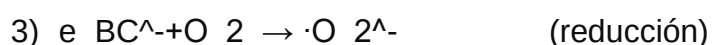
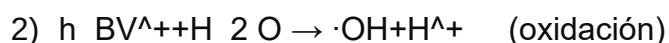
logra un incremento en el ancho de banda prohibida, lo cual confiere a los materiales mejor actividad foto catalítica. (Angeles, 2019)

FOTOCATÁLISIS.

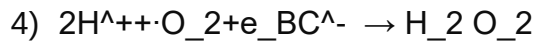
La fotocatalisis es definida como la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador, dicho efecto foto catalítico se evidencio desde 1964 donde Kato publicó su trabajo sobre la oxidación foto catalítica de tetralina (1,2,3,4-tetrahidronaftaleno) por una suspensión de TiO_2 , que fue seguido de MacLintock con la investigación de la oxidación foto catalítica de etileno y propileno en presencia de oxígeno adsorbido sobre TiO_2 . Sin embargo, el descubrimiento más importante que promovió ampliamente el campo de la fotocatalisis es el "Efecto Honda-Funjishima". (andes, 2017)

Ellos descubrieron que exponiendo el TiO_2 (Dióxido de titanio) al sol puede producir la disociación foto catalítica del agua. Este efecto se basa en la absorción de radiación ultravioleta para provocar una reacción de oxidación. La radiación a la que se somete tiene que ser inferior a 380 nm para igualar o superar el band-gap del semiconductor, y así generar un exceso de electrones En la banda de conducción y huecos positivos h^+ en la banda de valencia 53,54. (andes, 2017)(Ecuación 1).

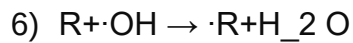
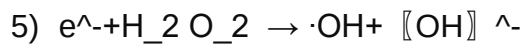
En la superficie del TiO_2 los electrones reaccionan con el H_2O adsorbida reaccionando con el hueco para formar el radical hidroxilo $\cdot OH$ (Ecuación 2), con lo cual el oxígeno adsorbido es el principal aceptor de electrones dando como producto un superóxido (Ecuación 3).



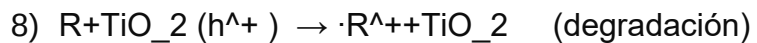
El superóxido y el radical hidrógeno reaccionan con los electrones en la banda de conducción dando como producto peróxido de hidrógeno (Ecuación 4).



La adición de radicales de peróxido de hidrógeno aumenta considerablemente la velocidad de la foto degradación, debido a la generación de radicales hidroxilos extra (Ecuación 5). Los radicales hidroxilos atacan al componente orgánico (R) provocando su oxidación (andes, 2017) (Ecuación 6):



En la ecuación 7 y 8 se muestra la oxidación directa degradando los productos orgánicos mediante un electrón-hueco (TiO₂).



Los fotoelectrones pueden reducir a los átomos de Ti_4^+ a Ti_3^+ , quienes a su vez se oxidan, reduciendo al oxígeno molecular del medio. Esta especie reducida origina radicales libres (Figura 1), que degradan finalmente al compuesto orgánico contaminante. (andes, 2017)

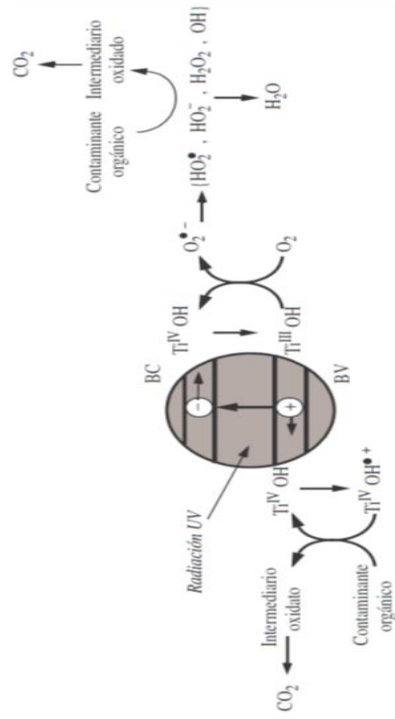
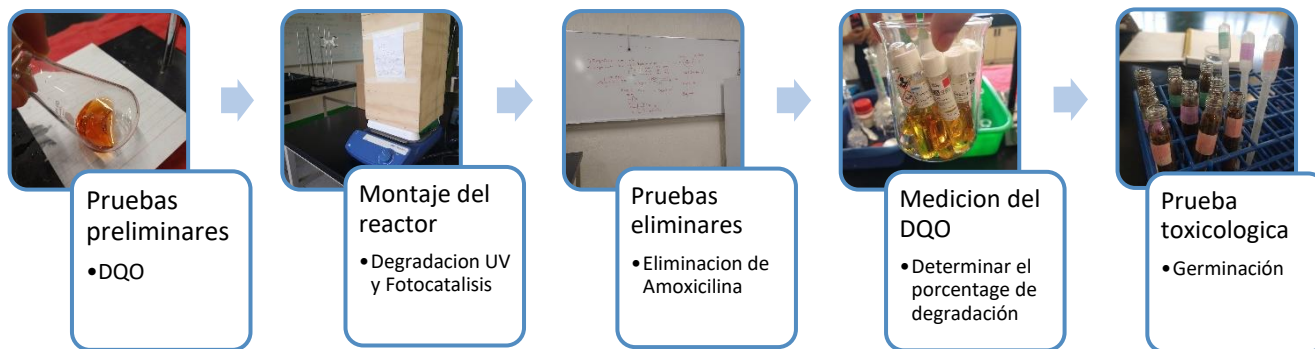


Figura 2 Mecanismo de formación del par electrón-hueco en la superficie de TiO_2 .

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Figura 3 Diagrama de flujo del desarrollo experimental.



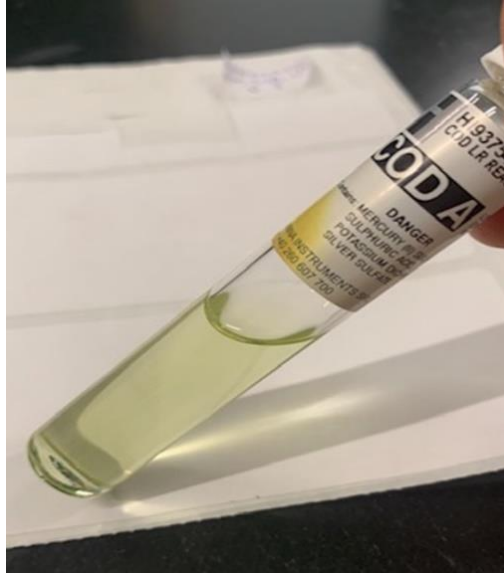
Iniciamos con la preparación de 1L de Sulfato Ferroso Amoniacal a una concentración de 1M como titulante para el reactivo de amoxicilina a 25ppm.



Figura 4 amoxicilina y sulfato ferroso moniacal

Se colocó una muestra de amoxicilina al digestor, para después colocar 3 gotas de ferroina como indicador consiguiendo un color azul-verde, se tituló con el Sulfato Ferroso Amoniacal hasta conseguir un color rojizo, el gasto total del titulante resulto ser de 0.9ml. Utilizamos la prueba de DQO como principal herramienta para medir la

Con ello sacamos un DQO teórico ajustado a 17,000ppm considerando los siguientes datos para desarrollar nuestras formula.



- volumen gastado
- concentración del acetato de sodio
- volumen total (resultado de la suma de Ac. De sodio + del indicador de DQO)

$$DQO = 0.0044 * 17,000(ppm) = 65 \text{ DQO teórico}$$

El resultado obtenido después del desarrollo de la formula del DQO, dio como conclusión un resultado de 65 como DQO teórico (o también llamado DQO inicial)

El reactor

- Usamos una parrilla eléctrica que tiene una función de agitador mediante magnetismo. Solo usamos el agitador ya que la radiación UV aumentaría la temperatura necesaria.



Figura 6 parrilla magnética

- Una lámpara de 13w luz UV sumergible en agua 110v



Figura 7 lámpara de 13w luz UV sumergible en agua 110v

- Barra magnética

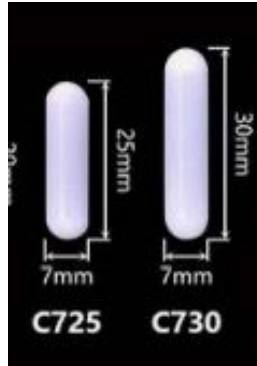


figura 8 barra magnética sumergible

CAPITULO IV

DISCUSION DE RESULTADOS

Durante el tiempo el laboratorio nos cuestionamos “¿Cuál sería la concentración de amoxicilina que usaríamos para someterlo a la radiación UV?” considerando el tiempo que tendría que pasar para que su eliminación fuera efectiva, El calor también sería un factor por considerar y la electricidad que fue un tema que no tocamos.

Después de pensarlo tomamos una decisión con base a las consideraciones anteriores, con lo que hacer las pruebas en 50ml de solución a 25ppm del fármaco sería lo más optimo.

Para las pruebas de eliminación de amoxicilina preparamos 50ml de amoxicilina a una concentración de 25ppm. El cual colocamos en el reactor de rayos UV.



Figura 9 Foto del reactor

Esperamos 5min y con una pipeta tomamos una muestra de 2ml de la amoxicilina ya tratada para agregarlo a un vial (revelador de QDO que se introduce en el multiparámetro) y agitamos para homogenizar muestra con el revelador de DQO. Dicha muestra se introduce al multiparámetro a una temperatura de 150°C. durante una hora.

Procedemos a sacar el vial tratado del multiparámetro para realizar una prueba de titulación, el cual tuvo un gasto de 1ml

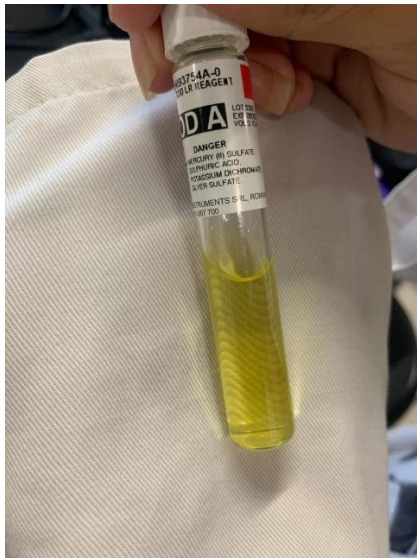


Figura 10 Revelador de QDO que se introduce en el multi parámetro

CINÉTICA DE DEGRADACIÓN

Después de las muestras nos falta saber el % de degradación en las pruebas realizadas, tomando en cuenta cierta concentración de amoxicilina expuesta a diferentes intervalos de tiempo en el reactor de rayos UV.

$$\% \text{ Degradacion} = \left(\frac{DQO_i - DQO_{fn}}{DQO_i} \right) * 100$$

Tabla 2 Comparación de la Degradación de Amoxicilina a 100 ppm con tratamiento de Radiación UV a diferentes tiempos

Amoxicilina ppm 100	% Degradación
0	0
2.30	20.51
5	85.47
10	100

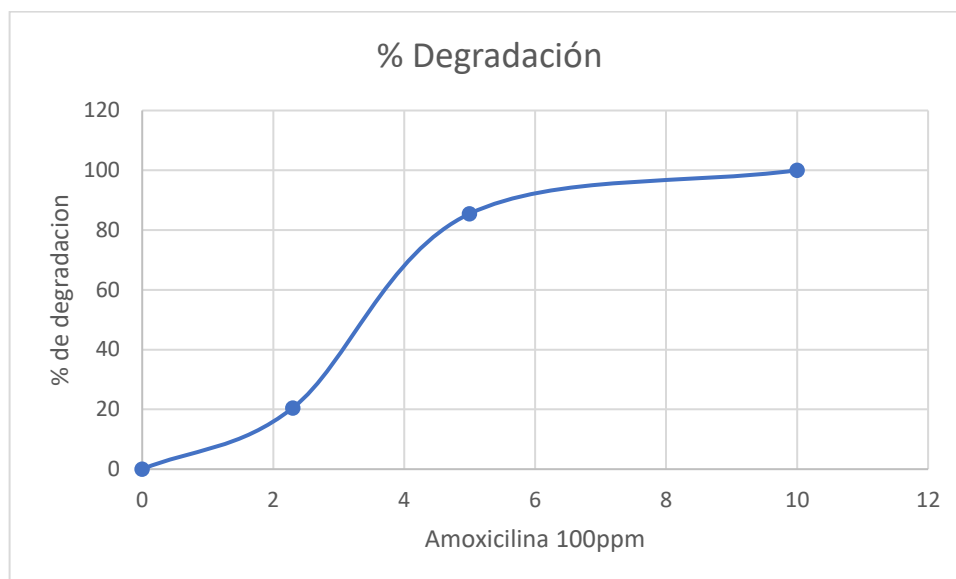


Figura 3 Grafica de Porcentaje de Degradación de Amoxicilina a 100 ppm con tratamiento de Radiación UV.

DEGRADACIÓN CON UV + FOTOCATÁLISIS

$$\% \text{ Degradacion} = \left(\frac{DQO_i - DQO_{fn}}{DQO_i} \right) * 100$$

Tabla 4 Comparación de la Degradación de Amoxicilina a 100 ppm con tratamiento de Radiación UV y fotocátalisis a diferentes tiempos

Amoxicilina ppm100 + fotocátalisis	% Degradación
0	0
2.30	100
5	100
10	100

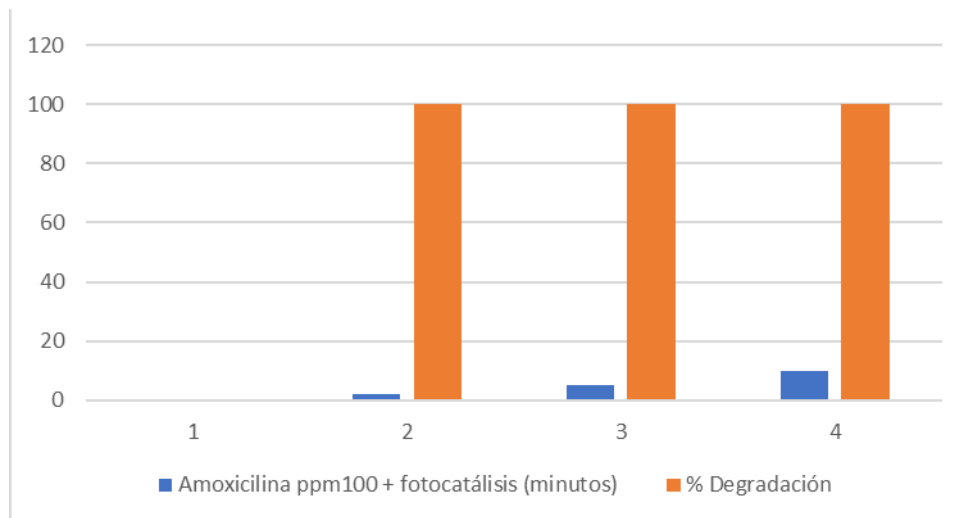


Figura 11 % de degradación a una concentración de 100ppm

A partir de agregar el proceso de fotocátalisis desde la primera prueba de 2.30 min el porcentaje de remoción de la amoxicilina de nuestra muestra llego al 100%, para cerciorarnos concluimos las 2 pruebas restantes para verificar que el resultado fuera correcto, con lo que dime por terminado las pruebas de DQO.

Pruebas toxicológicas

Para comprobar la eliminación del fármaco (amoxicilina) iniciamos pruebas toxicológicas de germinación con el agua tratada con semillas de lenteja, utilizando un Eco-sustrato PEAT MOSS (Se describe como un material orgánico compacto, de color pardo claro hasta oscuro y rico en carbono, tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen, los miembros de este género pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células, algunas especies pueden retener más de 20 veces su peso seco en agua).

Iniciamos con la limpieza de las lentejas, dejándolas durante 5 minutos en alcohol etílico con la finalidad de quitar cualquier impureza o bacteria que afectara el resultado y germinación de las semillas. Posteriormente se dejaron reposar las mismas semillas en agua destilada durante 4 Horas.

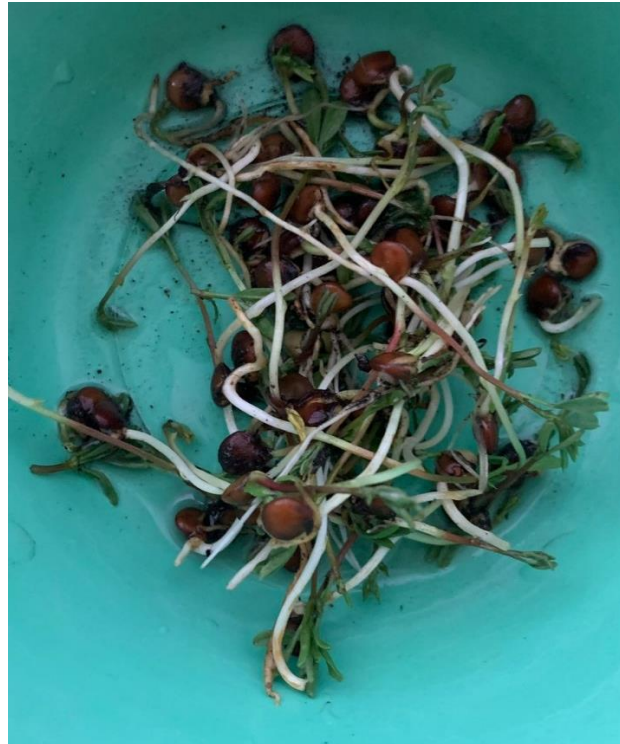


Figura 12 lentejas extraídas de los tubos de ensayo después de 10 días de cuidados

En 9 tubos de ensayo se colocaron 3 semillas de lenteja por cada tubo, exponiéndolos a diferentes condiciones de agua:

- En 3 tubos solo se les agrego agua destilada
- En 3 tubos contienen el agua tratada * fotocatálisis
- En 3 tubos contienen agua con amoxicilina (sin tratar)

Durante un periodo de 10 días, se fue monitoreando la germinación de las semillas de cada una de las pruebas con el fin de ver cuál de las pruebas tenía un mayor crecimiento.

Agua Tratada

Tabla 5 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua tratada con radiación UV

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)
Semilla 1	0	0	0	0	3.1	5
Semilla 2	0	0	0.6	2.9	2.1	6.1
Semilla 3	0	0	0.8	8.1	2.2	5.9

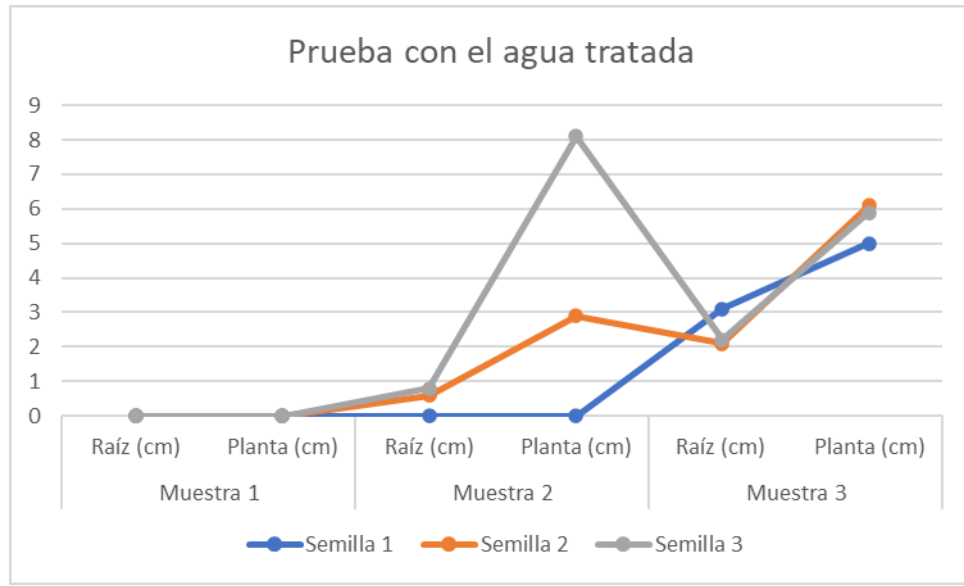


Figura 13 Comparación del crecimiento de semillas rociadas de agua tratada con radiación UV



Ilustración 14 Prueba del Agua tratada

Agua Sin Tratamiento

Tabla 6 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua sin tratamiento (Agua con amoxicilina a 100 ppm)

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)
Semilla 1	0 cm	0 cm	0	0	0	0
Semilla 2	3.9 cm	2.4 y 0.8	0	0	0.9	1.0 y 2.6
Semilla 3	1.1 cm	2.1, 2.9 y 1.1	0	0	0.8	2.7

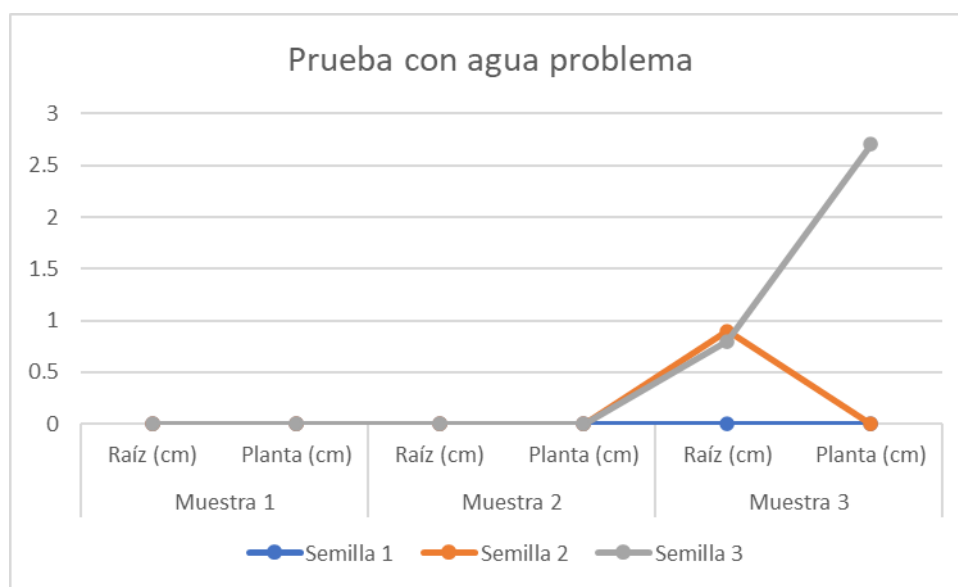


Figura 15 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua sin tratamiento (Agua con amoxicilina a 100 ppm)



Figura 16 prueba del agua sin tratar

Agua Destilada

Tabla 7 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua destilada

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)	Raíz (cm)	Planta (cm)
Semilla 1	3.3	2.6	2.5	4.6	0	0
Semilla 2	2.9	3.6	3.2	2.6	0	0
Semilla 3	2.7	2.9	0.4	4.8	2.6	4.6

Figura 17 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua destilada

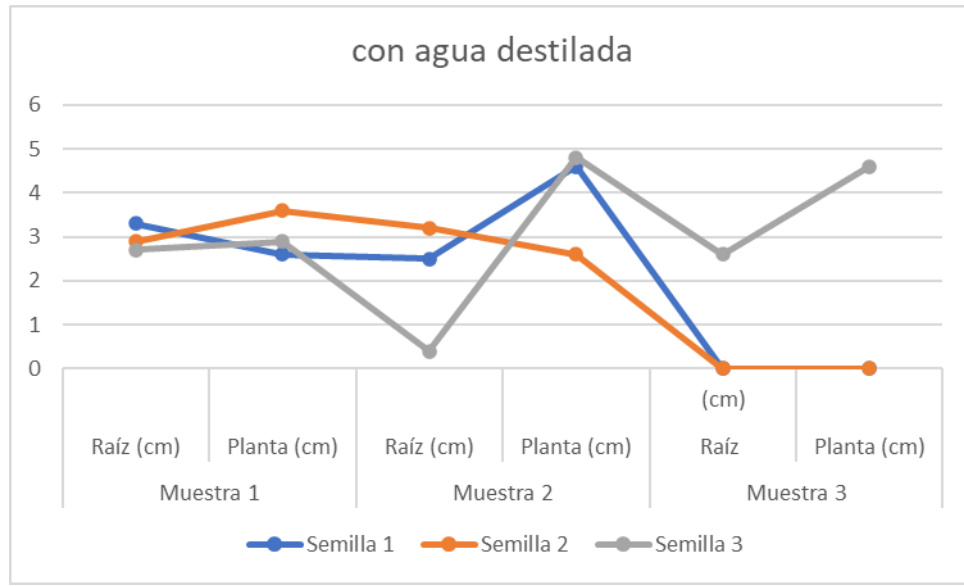


Figura 18 Comparación del crecimiento de semillas rociada de agua destilada



Figura 19 Prueba solo con agua destilada

Después de realizar las pruebas preliminares a diferentes concentraciones (25ppm,100ppm,200ppm) como mejor resultado, decidimos trabajar a una concentración de 100 ppm.

Para realizar la eliminación de Amoxicilina procedimos con la explosión del tratamiento de Fotocatálisis, que se compone de la síntesis del óxido de zinc, más la radiación a la exposición de rayos ultravioleta (UV).

Durante este proceso de exposición a la radiación de una lámpara UV, el porcentaje de degradación o eliminación del Fármaco Amoxicilina, iba aumentando, a la vez que se aumentarían los minutos de exposición

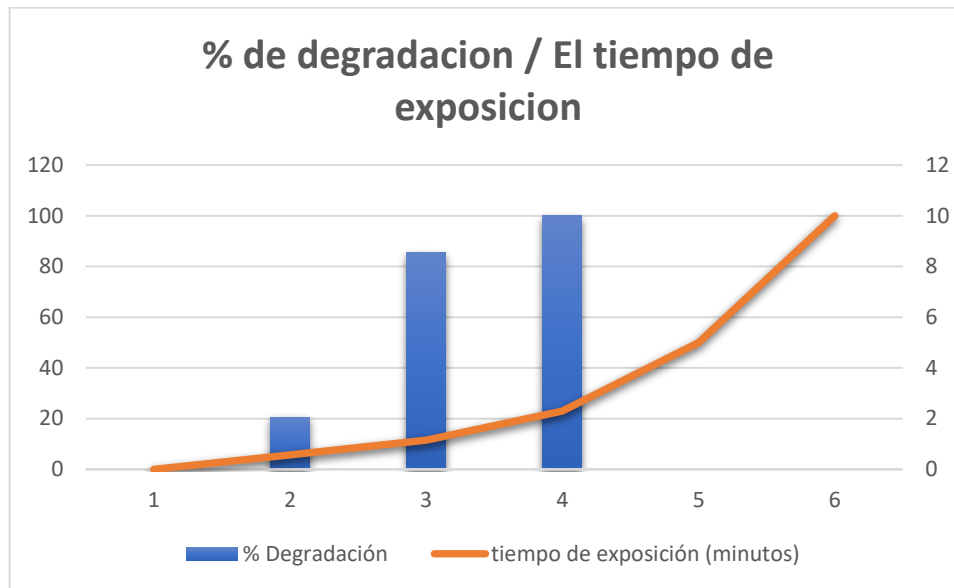
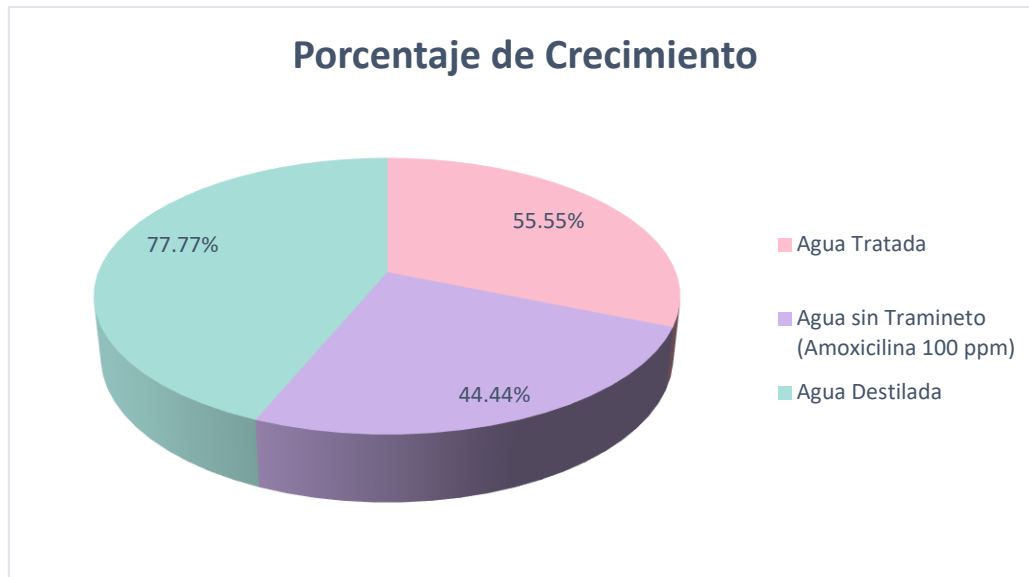


Figura 20 % de degradación / el tiempo de exposición

Las pruebas toxicológicas de germinación nos ayudaron a comprobar la efectividad del tratamiento, por lo que, comparamos la efectividad del agua tratada contra el agua sin tratar (en presencia de amoxicilina).

Y una tercera prueba de Agua destilada, con fin de hacer la comparación de “Aguas en intervención del ser humano” en comparación de una muestra en condiciones óptimas. Durante 10 días llevamos a cabo la prueba de germinación utilizando un ECO-SUSTRATO (Peat-most) y semillas de Lentejas ya que cuentan con un ciclo de crecimiento relativamente corto (de venta comercial), fue lo óptimo para evaluar su crecimiento.

Posterior a los 10 días de prueba como se puede apreciar en la (Figura 23 Gráfica de porcentaje de crecimiento de las semillas de lentejas) resulto un notable crecimiento en las semillas que fueron rociadas solo con agua destilada obteniendo un 77.77% de crecimiento mientras que las semillas que fueron rociadas con el agua tratada con radiación UV desarrollo un crecimiento del 55.55% de crecimiento. Dejando con un 44.44% de crecimiento al agua problema a la que no se le aplico ningún tratamiento (agua con amoxicilina a 100 ppm).



Después de revisar las diferentes muestras, algunas semillas no lograron entrar al proceso de germinación esto a diversos factores por las que las semillas no sobrevivieron a la germinación (Maduración, Genética, oxígeno, temperatura, etc.).

Podemos observar la diferencia de crecimiento entre cada prueba:

- Muestra con agua tratada



-Muestra expuesta al agua contaminada con amoxicilina



-Muestra rociada solo con agua destilada





Figura 21 las lentejas después de todo el proceso de las más grandes a las más pequeñas

CONCLUSIONES

En base a la investigación y experimentación realizadas, se concluye que es posible degradar completamente la amoxicilina en fase acuosa. La presencia de este antibiótico en el agua tiene impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres y complica su eliminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales, principalmente debido a la proliferación de antibióticos durante los procesos biológicos.

Se propone la implementación de un reactor de radiación UV y/o la fotocatálisis en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La efectividad de estos procesos ha sido comprobada experimentalmente. Exponiendo el agua contaminada a un tratamiento de radiación UV durante un tiempo específico, se logra eliminar la amoxicilina. Esto se ha validado mediante pruebas toxicológicas de germinación, donde las semillas mostraron un crecimiento aceptable y sin presencia de contaminantes.

Por lo tanto, la radiación UV y la fotocatálisis se presentan como métodos viables y efectivos para la eliminación de amoxicilina en aguas residuales.

si bien la investigación y la experimentación de este trabajo fue concluida y con resultados prometedores, aún tiene mucho espacio por cubrir:

- planeación para crear el reactor del tratamiento en radiación UV

- Pruebas microbiológicas

Es posible que futuras generaciones puedan utilizar este análisis como base de sus futuros proyectos que fortalezcan el conocimiento y desarrollo de los contaminantes farmacéuticos en aguas residuales. Así como nuevos métodos de eliminación de algún contaminante creciente.

Se recomienda utilizar la misma marca del Viales reveladores de DQO con el multiparámetro, ya que es posible que tengan lecturas diferentes al ser de

proveedores diferentes, en este caso se utilizaron viales de la marca “COD A” y tomar en cuenta que el proceso del digestor es tardado, en las pruebas que se realizaron se tomó un tiempo de 120min.

tener suficiente amoxicilina disponible, para las diferentes pruebas en una presentación solida (en polvo) ya que es más fácil pesarlo y convertirlo a una solución acuosa.



Figura 22 acercamiento de las lentejas extraídas de las pruebas

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

- ❖ Diseña, selecciona, opera, optimiza y controla procesos en industrias químicas y de servicios con base en el desarrollo tecnológico de acuerdo con las normas de higiene y seguridad, de manera sustentable.
- ❖ Colabora en equipos interdisciplinarios y multiculturales en su ámbito laboral, con actitud innovadora, espíritu crítico, disposición al cambio y apego a la ética profesional.
- ❖ Utiliza las tecnologías de la información y comunicación como herramientas en la construcción de soluciones a problemas de ingeniería y difundir el conocimiento científico y tecnológico.
- ❖ Demuestra actitudes de superación continua para lograr metas personales y profesionales con pertinencia y competitividad.
- ❖ Se comunica en forma oral y escrita en el ámbito laboral de manera expedita y concisa.

GLOSARIO

- Remoción:
 - Cuando quitamos, borramos, eliminamos, obviamos o apartamos algo, lo que estamos haciendo es removerlo.
- Efluente:
 - Un efluente es un curso de agua que surge de un río o de un lago como una ramificación.
- Patógeno:
 - Que origina y desarrolla una enfermedad. Aplicado a un microorganismo.
- Fotocatálisis:
 - Es una forma de depurar y desintoxicar el agua.
- Nano cables:
 - Es un cable de un diámetro de apenas unos nanómetros (nm).
- Epitaxia:
 - Es la asociación de dos minerales de diferentes especies, entre los cuales existe una compatibilidad estructural, en virtud de la cual los cristales de ambos cuerpos se desarrollan, uno sobre el otro, en determinadas direcciones.

- Dímero:
 - Una reacción química en la que dos moléculas de subunidades idénticas (monómeros) forman una estructura química única, denominada dímero.
- Foto reactivación:
 - se trata de un proceso de reparación directa del ADN catalizado por una reacción enzimática, en la que dos dímeros de pirimidina unidos covalentemente (producto de una foto lesión previo).
- PTAR:
 - Planta de tratamiento de agua residual.
- Proliferación:
 - Es asociada a la abundancia de algo.
- ESO-SUSTRATO:
 - Un eco sustrato es un material o combinación de materiales orgánicos e inorgánicos que se utilizan en la agricultura, horticultura o jardinería para proporcionar soporte físico, nutrientes y un entorno adecuado para el crecimiento de plantas. A diferencia de los sustratos tradicionales, un eco sustrato pone un énfasis especial en la sostenibilidad y el uso de recursos renovables o reciclados.

- Ecología:

-La ecología es la rama de la biología que estudia las interacciones entre los organismos y su entorno, incluyendo factores tanto bióticos (otros seres vivos) como abióticos (clima, suelo, agua). Se enfoca en comprender las relaciones y procesos que determinan la distribución y abundancia de los seres vivos.

- Antibiótico:

-Un antibiótico es una sustancia química producida por un microorganismo o sintetizada en laboratorio que puede inhibir el crecimiento de bacterias o destruirlas. Son utilizados en medicina para tratar infecciones bacterianas.

- Radiación UV:

-La radiación ultravioleta (UV) es un tipo de radiación electromagnética emitida por el sol y otras fuentes artificiales como las lámparas de rayos UV. Tiene longitudes de onda más cortas que la luz visible y puede ser clasificada en UVA, UVB y UVC, siendo la UVB y UVC las más dañinas para la piel y los ojos.

- Malformación:

-Una malformación es un defecto estructural congénito que se produce durante el desarrollo fetal, resultando en una estructura anatómica anormal que puede afectar la función de una parte del cuerpo.

- Degradación:

-La degradación se refiere al proceso de descomposición o deterioro de una sustancia, material, o estructura. En el contexto ambiental, puede referirse a la degradación de contaminantes o a la degradación del medio ambiente por actividades humanas.

- Toxicología:

-La toxicología es la ciencia que estudia los efectos adversos de sustancias químicas en los organismos vivos, incluyendo su detección, diagnóstico, tratamiento, y prevención de intoxicaciones.

- ZnO (Óxido de Zinc):

- El óxido de zinc es un compuesto químico con la fórmula ZnO.

- TiO₂ (Dióxido de Titanio):

- El dióxido de titanio es un compuesto químico con la fórmula TiO₂.

- Sulfato Ferroso Amoniacal:

- El sulfato ferroso amoniacal es una sal doble compuesta de sulfato ferroso

- Acetato de Sodio:

- El acetato de sodio es una sal de sodio del ácido acético con la fórmula CH₃COONa. Se utiliza en la industria alimentaria como conservante, en la industria textil y en la producción de ciertos compuestos químicos, El nuevo desafío ambiental: la eliminación de fármacos del agua.

- DQO (Demanda Química de Oxígeno):

- La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente la materia orgánica presente en una muestra de agua.

- Digestor:

- Un digestor es un dispositivo o tanque utilizado en el tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos para descomponer la materia orgánica mediante procesos biológicos o químicos, produciendo biogás y reduciendo la carga de contaminantes.

- Catalizador:

- Un catalizador es una sustancia que acelera una reacción química sin consumirse en el proceso. Los catalizadores son fundamentales en muchas reacciones industriales y biológicas, incluyendo la producción de productos químicos y la digestión.

- Ecosistema:

- Un ecosistema es un sistema natural formado por una comunidad de organismos vivos y su entorno físico, interactuando como una unidad funcional.

- Germinación:

- La germinación es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla y crece hasta convertirse en una nueva planta. Involucra la activación de las funciones vitales de la semilla y su transformación en una plántula.

Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de • instrumentos politica ambiental.pdf
- Angeles, L. F. (02 de JULIO de 2019). *ROYAL SOCIETY OF CHEMESTRY*. Obtenido de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ew/c9ew00559e#!>
- Anne Munch Christensen, B. M. (9 de OCTUBRE de 2009). *ELSEVIER*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653509007978>
- Carvalho, L. (06 de Abril de 2022). *ONU*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/como-los-patogenos-resistentes-los-medicamentos-presentes-en-el>
- fundacion, a. (02 de junio de 2024). *agua funtacion*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-rios-mas-importantes-del-mundo/>
- Gretchen M Bruce, R. C. (15 de julio de 2010). *national library of medicine*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20575537/>
- kianpour, S. (23 de junio de 2023). *pubmed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35436046/>
- LISE charuaud, e. j. (5 de enero de 2019). *pubmed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30179788/>
- Mariana torres, E. (15 de Marzo de 2019). *cresaa&thecityblog*. Obtenido de <http://www.cresa.cat/blogs/sociedad/es/les-aigues-residuals-mostren-els-nivells-de-resistencia-antimicrobiana-a-tot-el-mon/>
- MATER, J. H. (5 de MAYO de 2022). *NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35121292/>
- Moreira, A. R. (22 de junio de 2022). Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35694867/#full-view-affiliation-1>

- nocle m burri, r. w. (19 de SEPTIEMBRE de 2019). *ELSAVIER*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719322776>
- Nur alyaa zahadi azizan, A. y. (5 de OCTUBRE de 2021). *ELSEVIER*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721009039>
- Patiño, Y., & Díaz, E. (marzo-junio de 2014). *MICROCONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: TIPOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323631115001.pdf>
- Plazas, M. A. (10 de agosto de 2020). *PeriodicoUNAL*. Obtenido de <https://periodico.unal.edu.co/articulos/sistema-de-tratamiento-elimina-antibioticos-en-aguas-residuales/>
- Sandra Rodriguez, M. C. (20 de diciembre de 2022). *pubmed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33984206/>
- SECTEI. (19 de JULIO de 2020). *Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación*. Obtenido de <https://www.sectei.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/buscan-antibioticos-en-agua-residuales-y-plantas-de-tratamiento>
- Tiwari KD, D. G. (21 de Enero de 2021). *PubMed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32001852/>
- UnFaraji, M. M. (24 de Octubre de 2020). *PubMed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33160182/>