



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA**



**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PREVIO
PARA OPTAR POR EL GRADO DE QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS**

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES
ORGÁNICOS EMERGENTES.**

AUTORES:

CARMEN GABRIELA FLORES PALOMINO

BETZI DAMARY GARCÍA GUERRA

TUTOR

Ph.D. TATIANA ZAMORA ZAMORA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CIENCIAS BÁSICAS, BIOCONOCIMIENTO Y DESARROLLO INDUSTRIAL

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN AMBIENTAL

PERIODO LECTIVO

2020

GUAYAQUIL – ECUADOR



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ANEXO XI.- FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	“EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EMERGENTES”		
AUTORES:	CARMEN GABRIELA FLORES PALOMINO BETZI DAMARY GARCIA GUERRA		
DOCENTE TUTOR Y DOCENTE REVISOR :	DOCENTE TUTOR: DRA. TATIANA ZAMORA ZAMORA PhD. DOCENTE REVISOR: DRA. MERIBARY MONSALVE PAREDES PhD.		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS		
GRADO OBTENIDO:	TERCER NIVEL – QUÍMICOS Y FARMACÉUTICOS		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	2020	No. DE PÁGINAS:	125
ÁREAS TEMÁTICAS:	GESTIÓN AMBIENTAL		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	CONTAMINANTES EMERGENTES, AGUAS RESIDUALES URBANAS, MEDIO AMBIENTE.		
RESUMEN/ABSTRACT:(150-250)	<p>Los contaminantes emergentes (CEs) son sustancias químicas que aparecen cada vez más en el medio ambiente, cuyas consecuencias de su existencia conducen a su persistencia y bioacumulación, pudiendo repercutir negativamente en la salud y en el entorno. El presente trabajo de investigación intenta dar una visión general sobre la problemática actual en la presencia de estos grupos de compuestos en aguas residuales urbanas; los cuales comprenden por su categoría: productos farmacéuticos, pesticidas, drogas de abuso, disruptores endocrinos, agentes industriales y edulcorantes artificiales, entre otros. Trabajos preliminares han demostrado que las estaciones depuradoras de aguas residuales convencionales no eliminan eficazmente todos estos compuestos orgánicos. Y en tal sentido, este estudio, además, permite comprobar la eficiencia de eliminación de los procesos de tratamiento a partir del análisis de diferentes fuentes bibliográficas.</p> <p>Para el desarrollo de esta investigación se evaluaron 17 procesos de tratamiento, clasificados en tratamientos fisicoquímicos, biológicos y, químicos mediante oxidación avanzada; con una cobertura de 126 contaminantes emergentes estudiados por al menos uno de los diferentes tratamientos para su retención y eliminación. Los resultados de este trabajo han evidenciado una mayor eficiencia de eliminación para los procesos de oxidación avanzada, siendo esta una técnica eficaz y prometedora en la eliminación de los CEs. Sin embargo, se destaca que la factibilidad de combinación de tratamientos favorece la retención de contaminantes tratados para su eliminación.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0978843147 Teléfono: 0962588305	E-mail: carmen.floresp@ug.edu.ec E-mail: betzi.garciag@ug.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS		
	Teléfono: (04) 2293680		
	E-mail: www.fcq.ug.edu.ec		



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO VI.- CERTIFICADO DEL DOCENTE TUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN

Guayaquil, 03 de octubre del 2020

Mgs.

Q.F. ZOILA LUNA BELLA ESTRELLA
DIRECTOR (A) DE LA CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. – Guayaquil

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **“Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes”** de las estudiantes **Carmen Gabriela Flores Palomino** y **Betzi Damary García Guerra**, indicando que han cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que las estudiantes están aptas para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

TATIANA ZAMORA ZAMORA, Ph.D
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
C.I: 0912589215
Fecha: 03 de octubre del 2020



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Guayaquil, 13 de octubre del 2020

Mgs.

Q.F. ZOILA BELLA LUNA ESTRELLA
VICEDECANA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. – Guayaquil

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación: **“Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes”** de las estudiantes **Carmen Gabriela Flores Palomino** y **Betzi Damary García Guerra**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 17 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 10 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

MERÍBARY MONSALVE PAREDES Ph.D.
C.I. 1757365497
Fecha: 13 de octubre del 2020



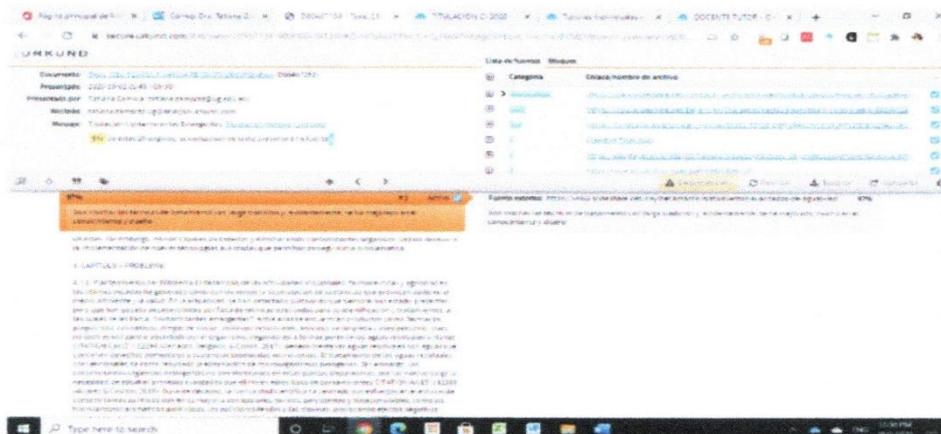
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado, **Ph.D. Tatiana Zamora Zamora**, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **Carmen Gabriela Flores Palomino** con C.I. **0201934692** y **Betzi Damary García Guerra** con C.I. **1206128504**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Químico y Farmacéutico.

Se informa que el trabajo de titulación "Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes", ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio **URKUND** quedando el 5% de coincidencia.



<https://secure.urkund.com/old/view/76987724-900086-798360#DclxDslwEETRu7j+QjPrjWPNKogCRYBckCYI4u7w9D7fZbtKvxxvHLjixAtueMUD0KEISAqkVSShcZK9wo53wd8zn3+7E/yqaLcqHJoZHq0eXvDw==>


TATIANA ZAMORA ZAMORA, Ph.D.
DOCENTE TUTOR
C.I: 0912589215
Fecha: 02 de octubre del 2020



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis_CEs_FLORES Y GARCIA REVISION URKUND.docx
(D80467153)
Submitted: 10/2/2020 8:45:00 AM
Submitted By: tatiana.zamoraz@ug.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

Maestría Final.docx (D22502779)
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35725/DEPURACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20CONTAMINADAS%20CON%20PLAGUICIDAS%20EMPLEADOS%20EN%20CULTIVOS%20DE%20CA%3%91A%20DE%20AZ%3%9ACAR%20EN%20COLOMBIA.pdf?sequence=1>
<https://docplayer.es/87981700-Modulo-5-casos-practicos-de-proteccion-ambiental-en-la-empresa-i.html>
<https://core.ac.uk/download/pdf/92991600.pdf>
<https://www.slideshare.net/nayibecamacho/tratamientos-avanzados-de-aguas-residuales-industriales>
<https://www.slideshare.net/DeyaniraArdila/aguas-residuales-trabajo-colaborativo-99290028>

Instances where selected sources appear:

23





FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 02 de octubre del 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación, Certifico: que he asesorado, guiado y revisado el trabajo de titulación en la modalidad de investigación, cuyo título es **“Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes”** presentado por las estudiantes **Carmen Gabriela Flores Palomino** con C.I. **0201934692** y **Betzi Damary García Guerra** con C.I. **1206128504**, previo a la obtención del título de Químicas y Farmacéuticas.

Este trabajo ha sido aprobado en su totalidad y se adjunta el informe de Antiplagio del programa URKUND, quedando el 5% de coincidencia. Lo Certifico.

TATIANA ZAMORA ZAMORA, Ph.D.
DOCENTE TUTOR
C.I. 0912589215
Fecha: 02 de octubre del 2020



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 13 de octubre del 2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrada **Ph.D. Meribary Monsalve Paredes**, tutor revisor del trabajo cuyo título es: **“Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes”**, certificó que el presente trabajo de titulación presentado por las estudiantes **Carmen Gabriela Flores Palomino** con C.I. **0201934692** y **Betzi Damary García Guerra** con C.I. **1206128504**; con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Químicas y Farmacéuticas, en la Facultad de Ciencias Químicas, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Meribary Monsalve Paredes Ph.D.
C.I. **1757365497**
Fecha: **13 de octubre del 2020**



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



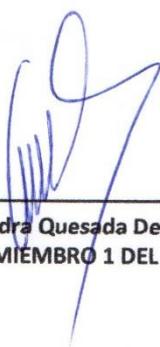
Guayaquil, 27 de octubre del 2020.

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL
ACTA DE REGISTRO DE LA SUSTENTACIÓN FINAL

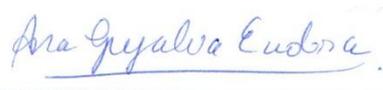
El tribunal de Sustentación del trabajo de titulación de las **Srtas. Carmen Gabriela Flores Palomino** con C.I. 0201934692 y **Betzi Damary García Guerra** con C.I. 1206128504, después de ser examinados en su presentación, memoria científica, y defensa oral, da por aprobado el trabajo de Titulación.



Meribary Monsalve Paredes Ph.D.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Dra. Alexandra Quesada Delgado, Mgs.
DOCENTE MIEMBRO 1 DEL TRIBUNAL



Ana Endara Grijalva, Mgs.
DOCENTE MIEMBRO 2 DEL TRIBUNAL



Ab. Francisco Palomeque Romero Mgs.
SECRETARIO GENERAL



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIDAD DE TITULACIÓN



**ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE
LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES NO ACADÉMICOS**

Nosotros, **Carmen Gabriela Flores Palomino** con C.I. 0201934692 y **Betzi Damary García Guerra** con C.I. 1206128504, certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es “**Evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes**” son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo/amo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Srta. Carmen Gabriela Flores Palomino
C.I. 0201934692

Srta. Betzi Damary García Guerra
C.I. 1206128504

CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por guiarme a lo largo de este proceso, a no rendirme y fortaleciéndome en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Le agradezco a toda mi familia en especial a mi abuelita Carmen Leonor Yáñez, a mi madre Aide Palomino Yáñez y a mi padrastro Segundo Fela, por su apoyo incondicional durante mi trayectoria universitaria.

Quiero agradecer a nuestra tutora, Dra. Tatiana Zamora por su comprensión, paciencia y dedicación en el presente trabajo de titulación, por sus consejos que nos motivan a ser mejores personas.

Agradezco a mi compañera de tesis Damary García, mejor amiga, por la ayuda brindada, por los buenos momentos y por su dedicación en el presente trabajo de titulación.

Agradezco a mis amigos por siempre estar cuando más los necesité, por ese apoyo incondicional y por permitirme compartir lindos momentos junto a ellos.

Gabriela Flores Palomino

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ayudarme a no rendirme, por permitirme culminar esta etapa y por ser mi sustento durante este proceso.

Le agradezco a mis padres Luis Garcia Mosquera y Betzi Guerra Corro, a mis hermanos Sinaí y Emanuel, a mis queridas abuelitas Esbelta y Oliva quienes nunca se rindieron, me motivaron y me apoyaron hasta final, pese a la distancia siempre estuvieron presentes.

Quiero agradecer a nuestra tutora, Dra. Tatiana Zamora por haber compartido sus conocimientos con nosotros, por su apoyo, responsabilidad y paciencia en el presente trabajo de titulación.

Agradezco a mi compañera de tesis Gabriela Flores, mejor amiga, por haber puesto empeño y dedicación en el presente trabajo de titulación, por su linda amistad y poder culminar esta etapa junto a ella.

A mis amigos, con los que compartir dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos que la vida me ha dado el gusto de conocer y que siempre están presentes.

Betzi Damary García Guerra

ÍNDICE

RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	2
I.1. Planteamiento del problema.....	2
I.1.1. Formulación del problema.....	3
I.2. Justificación e importancia.....	4
I.3. Hipótesis.....	5
I.4. Objetivos.....	5
I.4.1. Objetivo general.....	5
I.4.2. Objetivos específicos.....	5
I.5. Operacionalización de las variables.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
II.1. Contaminantes emergentes.....	7
II.2. Tipos de contaminantes emergentes en el agua.....	7
II.2.1. Pesticidas o plaguicidas.....	7
II.2.2. Productos farmacéuticos.....	8
II.2.3. Productos de cuidado personal.....	8
II.2.4. Tensoactivos.....	9
II.2.5. Disruptores endocrinos.....	10
II.2.6. Edulcorantes artificiales.....	10
II.2.7. Drogas ilícitas.....	11
II.3. Clasificación de los contaminantes orgánicos emergentes.....	11
II.4. Actividad antropogénica.....	12
II.5. Aguas residuales.....	13
II.5.1. Aguas residuales urbanas.....	13

II.5.2. Características de las aguas residuales.....	13
II.5.2.1. Características físicas.....	14
II.5.2.2. Características químicas	15
II.6. Tratamientos de las aguas residuales.....	17
II.6.1.1. Tratamiento preliminar.....	17
II.6.1.2. Tratamiento primario.....	18
II.6.1.3. Tratamiento secundario	18
II.6.1.4. Tratamiento terciario.....	19
II.6.2. Tratamientos de eliminación de contaminantes emergentes.....	19
II.6.2.1. Tratamientos fisicoquímicos	19
II.6.2.2. Tratamientos biológicos.....	24
II.6.2.3. Procesos de oxidación avanzados.....	32
II.7. Legislación medioambiental	42
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	44
III.1. Revisión y análisis de información bibliográfica.	44
III.2. Fuentes de información	44
III.2.1. Metodología aplicada.....	44
III.2.2. Base de datos científicas.....	44
III.2.3. Base de datos sobre normativas nacionales e internacionales ..	44
III.3. Selección de criterio para el análisis de información.....	45
III.4. Instrumentos de la investigación.....	45
III.5. Análisis e interpretación de los resultados	45
III.6. Representación gráfica de la metodología utilizada	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
IV.1. Contaminantes emergentes y sus actividades antropogénicas.....	47
IV.2. Clasificación de los tratamientos para la eliminación de contaminantes emergentes.....	48

IV.2.1. Tratamientos fisicoquímicos	50
IV.2.2. Tratamientos biológicos	56
IV.2.3. Tratamientos de oxidación avanzada	60
I.V.3. Clasificación de las moléculas contaminantes que presentaron mayor eficiencia de eliminación en los tratamientos estudiados.	70
IV.3.1. Agente industrial	70
IV.3.2. Productos farmacéuticos	71
IV.3.3. Disruptor endocrino	72
IV.3.4. Edulcorante artificial	73
IV.3.5. Pesticidas.....	74
IV.4. Cantidad de contaminantes emergentes estudiados por cada proceso de tratamiento.....	76
IV.5. Cantidad de contaminantes emergentes clasificados por las categorías estudiadas.	76
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
V.1. Conclusiones.....	78
V.2. Recomendaciones.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
GLOSARIO DE TÉRMINOS	97
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Operacionalización de las variables.....	6
Tabla II. Clasificación de los contaminantes emergentes	12
Tabla III. Regulaciones internacionales sobre el medio ambiente	43
Tabla IV. Relación de las actividades antropogénicas con los contaminantes emergentes.....	48
Tabla V. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de ultrafiltración (UF).....	50
Tabla VI. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de nanofiltración (NF).....	52
Tabla VII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de ósmosis inversa (RO).....	53
Tabla VIII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de carbón activado en polvo CAP.....	54
Tabla IX. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de carbón activado granulado (CAG).....	55
Tabla X. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando los tratamientos biológicos Anaeróbicos.....	57
Tabla XI. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de lodos activados aeróbicos	58
Tabla XII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de reactor biológico de membrana (MBR).....	59
Tabla XIII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de electrooxidación.....	61
Tabla XIV. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de oxidación avanzada electro-fenton.....	62
Tabla XV. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de foto-fenton.....	63
Tabla XVI. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de foto-fenton solar	64
Tabla XVII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso fotocatalisis-heterogénea.....	66

Tabla XVIII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de UV/ H ₂ O ₂	67
Tabla XIX. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de oxidación avanzada por UV/O ₃	69
Tabla XX. Clasificación de los contaminantes con mayor eficacia de eliminación.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descarga del 4-nonilfenol en los cuerpos de agua e ingreso al ser humano.....	9
Figura 2. Muestra una representación esquemática de los diferentes tipos de membranas, rangos de tamaño de poros y contaminantes de agua eliminados con los diferentes tamaños de poros y tipo de membrana.	21
Figura 3. Esquema del proceso de lodos activado aeróbicos.....	27
Figura 4. Esquema de la planta del proceso de MBR.....	28
Figura 5. Esquema de Reactor UASB.....	31
Figura 6. Esquema de una celda electroquímica.....	33
Figura 7. Esquema del proceso fotocátalisis heterogénea.	40

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Clasificación de los procesos fisicoquímicos	20
Esquema 2. Clasificación de los procesos biológicos.....	25
Esquema 3. Clasificación de los procesos de oxidación avanzados	32
Esquema 4. Representación gráfica de la metodología utilizada.....	46
Esquema 5. Clasificación de los tratamientos para la eliminación de los CEs	49

ÍNDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1. Reactivo Fenton	35
Ecuación 2. Proceso de foto Fenton	37
Ecuación 3. Proceso de UV/H ₂ O ₂	41
Ecuación 4. Proceso de UV/O ₃	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Eficiencia de eliminación del triclosán por distintos tratamientos.	71
Gráfico 2. Eficiencia de eliminación del diclofenaco por distintos tratamientos.	72
Gráfico 3. Eficiencia de eliminación del bisfenol A por distintos tratamientos.	73
Gráfico 4. Eficiencia de eliminación de acesulfamo de potasio por distintos tratamientos.	74
Gráfico 5. Eficiencia de eliminación del isoproturón por distintos tratamientos	75
Gráfico 6. Cantidad de CEs estudiados por cada proceso de tratamiento..	76
Gráfico 7. Porcentaje de los CEs clasificados por las categorías estudiadas	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Estructuras químicas de los productos químicos de uso industrial	99
Anexo B. Estructuras químicas de los disruptores endocrinos	100
Anexo C. Estructuras químicas de las drogas ilícitas	101
Anexo D. Estructuras químicas de los edulcorantes artificiales	102
Anexo E. Estructuras químicas de los fármacos	103
Anexo F. Estructuras químicas de los fármacos.....	104
Anexo G. Estructuras químicas de los fármacos	105
Anexo H. Estructuras químicas de los fármacos	106
Anexo I. Estructuras químicas de los fármacos	107
Anexo J. Estructuras químicas de los fármacos	108
Anexo K. Estructuras químicas de los fármacos	109
Anexo L. Estructuras químicas de los pesticidas	110
Anexo M. Estructuras químicas de los pesticidas.....	111
Anexo N. Estructura químicas de los pesticidas.....	112
Anexo O. Estructuras químicas de los pesticidas	113

RESUMEN

Los contaminantes emergentes (CEs) son sustancias químicas que aparecen cada vez más en el medio ambiente, cuyas consecuencias de su existencia conducen a su persistencia y bioacumulación, pudiendo repercutir negativamente en la salud y en el entorno. El presente trabajo de investigación intenta dar una visión general sobre la problemática actual en la presencia de estos grupos de compuestos en aguas residuales urbanas; los cuales comprenden por su categoría: productos farmacéuticos, pesticidas, drogas de abuso, disruptores endocrinos, agentes industriales y edulcorantes artificiales, entre otros.

Trabajos preliminares han demostrado que las estaciones depuradoras de aguas residuales convencionales no eliminan eficazmente todos estos compuestos orgánicos. Y en tal sentido, este estudio, además, permite comprobar la eficiencia de eliminación de los procesos de tratamiento a partir del análisis de diferentes fuentes bibliográficas.

Para el desarrollo de esta investigación se evaluaron 17 procesos de tratamiento, clasificados en tratamientos fisicoquímicos, biológicos y, químicos mediante oxidación avanzada; con una cobertura de 126 contaminantes emergentes estudiados por al menos uno de los diferentes tratamientos para su retención y eliminación. Los resultados de este trabajo han evidenciado una mayor eficiencia de eliminación para los procesos de oxidación avanzada, siendo esta una técnica eficaz y prometedora en la eliminación de los CEs. Sin embargo, se destaca que la factibilidad de combinación de tratamientos favorece la retención de contaminantes tratados para su eliminación.

Palabras claves: Contaminantes emergentes, aguas residuales urbanas, medio ambiente.

ABSTRACT

Emerging pollutants (ECs) are chemical substances that appear more and more in the environment, whose consequences of their existence lead to their persistence and bioaccumulation, which may have a negative impact on health and the environment. The present research work tries to give a general vision about the current problem in the presence of these groups of compounds in urban wastewater; which include by category: pharmaceuticals, pesticides, drugs of abuse, endocrine disruptors, industrial agents and artificial sweeteners, among others.

Preliminary work has shown that conventional wastewater treatment plants do not effectively remove all these organic compounds. And in this sense, this study also allows to verify the efficiency of elimination of the treatment processes from the analysis of different bibliographic sources.

For the development of this research, 17 treatment processes were evaluated, classified as physicochemical, biological and chemical treatments by advanced oxidation; with a coverage of 126 emerging pollutants studied by at least one of the different treatments for their retention and elimination. The results of this work have shown a higher removal efficiency for advanced oxidation processes, this being an effective and promising technique in the removal of CEs. However, it is highlighted that the feasibility of combining treatments favors the retention of contaminants treated for their elimination.

Keywords: Emerging pollutants, urban wastewater, environment.

INTRODUCCIÓN

Las múltiples actividades desempeñadas por el hombre involucran la presencia de contaminantes emergentes en el entorno natural, debido a la creciente demanda de productos químicos que son vertidos en los distintos cuerpos de aguas sin un tratamiento previo, generando así, una preocupación ambiental a nivel mundial.

La lista de contaminantes emergentes incluye una amplia variedad de residuos de productos como farmacéuticos, drogas ilícitas, agentes industriales, edulcorantes artificiales, pesticidas, productos de higiene personal, entre otros. Todos estos compuestos son emitidos directamente a las aguas residuales, bioacumulándose, llegando a provocar efectos adversos en la salud y el ecosistema.

Los tratamientos de aguas residuales convencionales es una práctica que se viene realizando desde la antigüedad. Sin embargo, estas técnicas de tratamientos comunes no son capaces de detectar, reducir y eliminar estos contaminantes orgánicos emergentes, de manera que es imprescindible el estudio de nuevas tecnologías en potencia para corregir este problema.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

I.1. Planteamiento del problema

El desarrollo de las actividades industriales, farmacéuticas y agrícolas en las últimas décadas ha generado como consecuencia la acumulación de sustancias que provocan daño en el medio ambiente y la salud. En la actualidad, se han detectado sustancias que siempre han estado presentes, pero que han pasado desapercibidas por falta de técnicas adecuadas para su identificación y tratamientos, a las cuales se les llama “contaminantes emergentes”, entre ellas se encuentran productos como: fármacos, plaguicidas, cosméticos, drogas de abuso, adictivos industriales, artículos de limpieza y aseo personal, pues no todo es utilizado o absorbido por el organismo, llegando así a formar parte de las aguas residuales urbanas (Carrasco, Delgado, & Cobos, 2017).

Generalmente las aguas residuales son aguas que contienen desechos domésticos o sustancias producidas en industrias. El tratamiento de las aguas residuales convencionales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos. Sin embargo, los contaminantes orgánicos emergentes no son eliminados en estas plantas depuradoras, por tal motivo surge la necesidad de estudiar procesos avanzados que eliminen estos tipos de contaminantes (Alvarez & Castillo, 2015).

Durante décadas, la comunidad científica ha centrado sus esfuerzos en el estudio de contaminantes químicos que en su mayoría son apolares, tóxicos, persistentes y bioacumulables, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los policlorobifenilos o las dioxinas, provocando efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente (Barcelo & Alba, 2015).

La Organización Mundial de la Salud (2006) creó las guías para la calidad del agua potable, cuya finalidad es “proporcionar una base científica que puedan utilizar las autoridades nacionales como punto de partida para el desarrollo de reglamentos y normas sobre el agua de consumo adecuadas para la situación de cada país”.

Estas sustancias pueden transportarse a largas distancias, se biomagnifican en la cadena trófica, muchos de ellos se comportan como disruptores endocrinos pueden tener efectos nocivos inmediatos o a largo plazo sobre el medio

ambiente, afectando el desarrollo económico, social y turístico sobre la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos (Flores Rubio, 2015).

Por lo expuesto es de gran importancia, no solo disponer de metodología para la identificación de moléculas orgánicas catalogadas como contaminantes emergentes, sino incrementar el conocimiento de los diferentes tipos de tratamientos que se utilizan para reducir esta nueva generación de contaminantes orgánicos emergentes en aguas residuales, con la finalidad de garantizar una calidad idónea de los ecosistemas que albergan las aguas desechadas, sin efectos para la salud humana y el medio ambiente.

I.1.1. Formulación del problema

De acuerdo con los antecedentes descritos se plantea la siguiente interrogante para su estudio:

¿Cuáles son los tratamientos que garantizan la reducción de contaminantes orgánicos emergentes presentes en las aguas residuales urbanas?

I.2. Justificación e importancia

El estudio de los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes es un tema de investigación de gran importancia, partiendo del hecho en que los seres humanos están provocando una contaminación sin fronteras ligada a un aumento de producción en todas las actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, farmacéuticas e industriales.

Los contaminantes emergentes (CEs) comprenden un problema sanitario y ambiental altamente grave, y aunque las aguas residuales urbanas pasen por procesos convencionales para alcanzar el grado de pureza deseado, es casi imposible su eliminación completa en las estaciones de tratamiento de aguas residuales, ya que la mayoría no están diseñadas para eliminar específicamente contaminantes orgánicos; por lo que simplemente ayudan a eliminar materiales sólidos y reducir los niveles de metales, bacterias y otros patógenos y al no eliminar estos productos orgánicos muy activos pasan a las aguas superficiales, subterráneas y a los suelos, entrando en contacto con los organismos (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Surgiendo la necesidad de buscar posibles alternativas para dar solución a este problema, el presente estudio pretende ser un aporte teórico que favorezca el mejoramiento de la gestión para los tratamientos de las aguas residuales urbanas, que ayuden a la degradación de contaminantes orgánicos emergentes. Dado que numerosos estudios en todo el mundo han detectado la presencia de sustancias contaminantes en las aguas residuales a altas concentraciones de hasta miles de $\mu\text{g/L}$, lo que demuestra que los tratamientos convencionales no son suficientemente efectivos para la eliminación de la mayoría de los contaminantes orgánicos (Salazar, 2016).

I.3. Hipótesis

Los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas presentan una importante reducción de contaminantes orgánicos emergentes.

I.4. Objetivos

I.4.1. Objetivo general

- Evaluar los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas para la reducción de contaminantes orgánicos emergentes.

I.4.2. Objetivos específicos

- Identificar potenciales compuestos orgánicos contaminantes en aguas urbanas por influencia de la actividad socioeconómica.
- Evaluar la factibilidad de métodos físicos, químicos y/o biológicos para el tratamiento de aguas residuales.
- Establecer la eficiencia en la recuperación de la calidad de aguas por la aplicación de los procesos de tratamiento más utilizados.

I.5. Operacionalización de las variables

Tabla I. Operacionalización de las variables.

TIPO	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Tratamiento de aguas residuales.	Procesos para degradación o reducción de contaminantes en matriz de aguas residuales.	Reacciones químicas, procesos físicos y/o biológicos.
	Contaminantes orgánicos emergentes en aguas residuales.	Compuestos de distinto origen y naturaleza química	ppb – ppm
	Actividad antropogénica.	Las diversas actividades del hombre, incrementa la diversidad de los agentes contaminantes en el agua.	Contaminación doméstica, agrícola e industrial.
	Calidad del agua.	Estar exenta de sustancias extrañas lo cual permitiera su empleo sin causar daño.	Color, olor, turbidez, densidad, pH OD, DBO, DQO.
DEPENDIENTE	Agua residual	Doméstica, industrial y Agrícola	Metales pesados Materias orgánicas Concentraciones de contaminantes.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

II.1. Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes (CEs) son sustancias químicas que están presentes en el agua en bajas concentraciones. Sin embargo, su presencia en el medio ambiente puede causar efectos graves en los seres humanos y el ecosistema. Ciertamente, no existen leyes y regulaciones que amparen la presencia de estos contaminantes.

Entre los CEs presentes en el agua resaltan los fármacos, productos de cuidado personal, plaguicidas, tensoactivos, agentes industriales, edulcorantes, compuestos endocrinos, entre otros.

II.2. Tipos de contaminantes emergentes en el agua

II.2.1. Pesticidas o plaguicidas

Los pesticidas o plaguicidas son sustancias agroquímicas destinadas a prevenir y combatir plagas en plantas y animales. Por esta razón, en las últimas décadas se ha incrementado el uso de estos compuestos en las actividades agrícolas.

Sin embargo, el abuso indiscriminado en la utilización de estos químicos provoca efectos perjudiciales en el ser humano y medio ambiente, causando gran preocupación en la sociedad.

En diferentes estudios se ha demostrado que la atrazina es un herbicida selectivo, que se utiliza para el control de algas en la acuicultura, generando malformaciones en los órganos de los peces, confirmando que la presencia de estos productos químicos en el agua, provocan efectos adversos en los organismos acuáticos (Morales et al., 2012).

Cabe señalar que la atrazina es considerada un herbicida polémico, ya que tiene la capacidad de alterar la función de algunos órganos, desorden hormonal y dificultad de reproducción en los seres vivos. La situación descrita se debe a la alta solubilidad en el agua y poca absorción en el suelo, al igual que, por su elevada persistencia (Treviño et al., 2013).

II.2.2. Productos farmacéuticos

Los productos farmacéuticos son sustancias que están diseñadas para aliviar, prevenir o curar algún tipo de enfermedad. Las principales vías de contaminación es mediante el consumo y excreción de los fármacos, ingresando al medio acuático a través de las aguas residuales. Sin embargo, se ha desarrollado la Ecofarmacovigilancia con el objetivo de llevar un control del consumo de fármacos para proteger el medio ambiente (Medina et al., 2019).

Entre los países con mayor consumo de medicamentos, se encuentra Estados Unidos con un 55%, mientras que Europa es el segundo con mayor prevalencia de consumo con un 24%. Estudios realizados demuestran que la presencia de fármacos, tales como, ibuprofeno, diclofenaco, carbamazepina son encontradas en agua potable en bajas concentraciones (Gil et al., 2012). Tal es el caso, que en el 2007 se realizó un estudio en 7 depuradoras de aguas residuales en España, observándose que los de mayor concentración son antiinflamatorios no esteroideos, betabloqueantes y antihistamínicos con mayores concentraciones (Tekniker, 2010).

De todos los contaminantes emergentes, los de mayor preocupación son los productos farmacéuticos, su investigación se encontró como una de las principales en los organismos dedicados a la protección de la salud pública y medioambiental, como la Organización Mundial de la Salud, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente y la Comisión Europea (Información Farmacoterapéutica de la Comarca, 2016).

II.2.3. Productos de cuidado personal

Son productos que se utilizan directamente en el cuerpo humano, están diseñados para alterar el olor y la apariencia. Estos productos incluyen geles, champús, jabones, desodorantes, lociones, protectores solares, cosméticos, pasta de dientes, perfumes, repelentes de mosquitos, entre otros.

El uso de estos productos se ha incrementado considerablemente ya que lo utilizan con mucha frecuencia. Uno de los compuestos más utilizados es el triclosán, es un agente antibacteriano de amplio espectro que se encuentra en diferentes productos como jabón, dentífrico, desodorante, etc. Como resultado, este compuesto en las últimas tres décadas ha sido uno de los más detectados

en los efluentes de las aguas residuales de Estados Unidos, Canadá, Europa, Australia y Japón (Sanz García, 2017).

II.2.4. Tensioactivos

Los tensioactivos constituyen una gran variedad de compuestos con una amplia gama de aplicaciones, debido a su solubilidad, detergencia, dureza del agua con propiedades emulsionantes, dispersantes y humectantes (Sanz García et al., 2017).

El Nonilfenol (un alquilfenol usado en detergentes) es uno de los compuestos orgánicos de mayor consumo en Australia, Canadá, Estados Unidos, China. (Ruiz, 2014). Además, es un ingrediente común en la fabricación de detergentes, desengrasantes, dispersantes, emulsionantes, estabilizantes, así como también en fórmulas de pesticidas, pinturas, entre otros.

Según revisiones bibliográficas el 4-nonilfenol está presente en concentraciones hasta 27 $\mu\text{g/L}$ en aguas superficiales y en arroyos de países como Japón, Italia, Alemania. Igualmente se ha evidenciado concentraciones de nonilfenol en los medios acuáticos como el lago Taihu en China, reportando una concentración de 116 $\mu\text{g/L}$ en aguas, mientras que en alimentos como el camarón, la carne y el hígado del pescado presentaron concentraciones que van desde 108, 301 y 375 $\mu\text{g/L}$, superando los valores establecidos en la Norma de calidad ambiental, como es de 2.0 $\mu\text{g/L}$ señalados por la UE (Comisión Europea, 2011) (Chen et al., 2014; Doria et al., 2019).

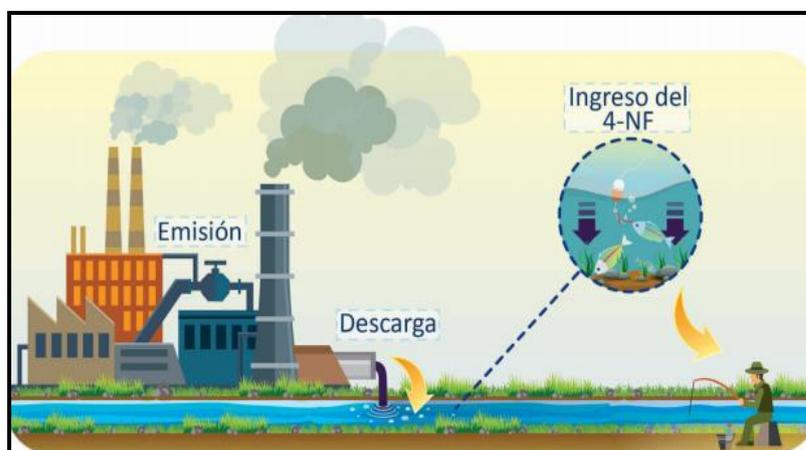


Figura 1. Descarga del 4-nonilfenol en los cuerpos de agua e ingreso al ser humano

Fuente: Doria et al. (2019)

Como consecuencia, los efectos adversos que provocan las descargas de estos compuestos no solo constituyen una amenaza para los organismos acuáticos, sino también en los seres humanos a través de la ingesta de alimentos y consumo de agua potable, como lo indica la **Figura 1**.

II.2.5. Disruptores endocrinos

Los disruptores endocrinos (DE) son compuestos químicos capaces de alterar el equilibrio hormonal, de modo que interfieren en el funcionamiento normal de las glándulas endocrinas (Estrada et al, 2013).

Existe una gran cantidad de sustancias químicas artificiales que son derramadas al medio ambiente como, por ejemplo, el octilfenol, bisfenol A, 17- α -etinilestradiol (EE1), estrona (E1), estriol (E3), entre otras (Guzmán & Zambrano, 2007).

La presencia de todos estos compuestos en los sistemas acuáticos proviene por las descargas de aguas residuales. De modo que, estos pueden causar efectos nocivos en los seres vivos, tales como, deformidades, cambios en el comportamiento sexual e infertilidad (Dominguez, 2008). Así se ha verificado alteraciones presentes en pescados, mediante un estudio de toxicidad aguda, en la especie *Poecilia reticulada* a concentraciones bajas entre 2 $\mu\text{g/L}$ - 7.17 $\mu\text{g/L}$ de un herbicida clorpirifos, exponiendo cambios, provocando malformación en la aleta caudal, alteraciones en las branquias, hemorragias en las aletas, y alteraciones en el rendimiento reproductivo (Aranzazu, Rodriguez, & Agudelo, 2012).

II.2.6. Edulcorantes artificiales

Actualmente, la industria alimentaria y farmacéutica utiliza edulcorantes artificiales. Estas sustancias se han reportado en altas concentraciones en aguas residuales, aguas subterráneas y agua potable, especialmente edulcorantes como acesulfamo de potasio (ACS-K), sacarina, sucralosa y ciclamato de sodio.

En consecuencia, los edulcorantes artificiales no se metabolizan después de ser ingeridos, por lo que cuando se excretan a través de la orina y las heces, integrándose en el medio ambiente (Li et al., 2018).

Estos productos sintéticos no se eliminan en las plantas de tratamiento de aguas residuales, además resulta ser muy persistentes en las aguas superficiales.

II.2.7. Drogas ilícitas

Las drogas y sus metabolitos entran a la red de alcantarillado como drogas inalteradas por los excrementos humanos, saliva, sudor y por la eliminación intencional de laboratorios clandestinos de drogas después del uso ilegal (Mariño et al., 2011).

El consumo y abuso de drogas ilícitas en México ha aumentado entre la población de 12 a 65 años, de 1.6% en 2008 a 2.9% en 2016-2017 (Comisión Nacional contra las Adicciones, 2017). Es por eso, que el monitoreo de las drogas en aguas residuales se ha implementado en las plantas de tratamientos siendo un método alternativo para vigilar el consumo de la población (Cruz, Pérez, & Mandragon, 2019).

Por consiguiente, la reducción de la concentración de las drogas en aguas residuales y superficiales depende de la tecnología utilizada en los diferentes procesos en las plantas depuradoras; los tratamientos convencionales no los eliminan por completo, lo que significa que las drogas y sus metabolitos son liberados a las aguas superficiales. Entre las drogas ilícitas más estudiadas se encuentran la anfetamina, cocaína y sus metabolitos como benzoilecgonina, norcocaína, metanfetamina, heroína, y morfina (Castiglioni et al., 2011).

II.3. Clasificación de los contaminantes orgánicos emergentes

Los CEs incluyen una amplia gama de compuestos químicos que se encuentran presentes en los cuerpos de agua. En la **Talla II**, se muestran las sustancias contaminantes con mayor frecuencia en las aguas residuales urbanas.

Tabla II. Clasificación de los contaminantes emergentes

GRUPO DE CONTAMINANTES	SUBGRUPO	COMPUESTOS DE INTERÉS EMERGENTES
Pesticidas	Sintético	atrazina, mecopop, dicamba, pentaclorofenol, isoproturón, oxifluoreno, linuron, metolacloro, bentazon, clopiralida, diuron, dimetoato
Fármacos	Antibióticos	clindamicina, trimetoprima, eritromicina, norfloxacina, moxifloxacino, metronidazol
	Analgésicos y antiinflamatorios	paracetamol, ácido acetil salicílico, ibuprofeno, diclofenaco, oxicam, naproxeno, tramadol, ketoprofeno, fenazona
	Psiquiátricos	alprazolam, carbamazepina, mirtazapina
	B-bloqueantes	metoprolol, propranolol, tímolol, atenolol, bisoprolol
	Medios de contraste de rayos X.	iopromide, iopamidol, diatrizoato
Productos del cuidado personal	Parabenos	metilparabeno, metilparabeno, propilparabeno
	Filtros solares	benzofenona-4, cinamato, bendicilidenos, derivados del alcanfor
	Perfumes	aroflorano, isofornil acetato
Tensoactivos	Sulfonatos	α -olefin sulfonato de sodio
	Alcanolamidas	lauril monoetanolamida
	Alquifenoles	nonilfenol
Agentes Industriales	Benzotriazoles	benzotriazol, toliltriazol
	Agentes quelantes	ácido etilendiaminotetraacético
	Antimicrobiano	triclosán
Disruptores endocrinos	Sintéticos	bisfenol A, 17- α -etil-estradiol, diethilestilbestro
	Biológico	17- α -estradiol, estriol, estrona, progesterona, testosterona
Edulcorantes	Sintéticos	sacarina, sucralosa, aspartamo, ciclamato, neoesperidina dihidrocalcona, acesulfamo-k
Drogas de abuso	Cocaínicos	cocaína, benzoilecgonina
	Opiáceos	morfina, codeína
	Opioides	heroína, metadona

Elaborado por: Autores

II.4. Actividad antropogénica

Las actividades antropogénicas han demostrado ser las causantes de los problemas ambientales, involucrando nuevos compuestos contaminantes en el medio ambiente, de los cuales la mayoría son compuestos orgánicos.

El crecimiento de la población es el principal impulsor del aumento de la demanda de agua de uso directo (por ejemplo, para agua potable, saneamiento) e indirecto (por ejemplo, a través de servicios de uso intensivo de agua) (UNESCO, 2019). El agua potable y el saneamiento se consideran derechos básicos del ser humano porque son esenciales para brindar un medio de vida saludable.

II.5. Aguas residuales

Las aguas residuales incluyen todas las aguas cuyas características naturales han sido modificadas, es decir, contiene materia en suspensión y componentes disueltos, que pueden ser materia orgánica o inorgánica (Silva, Torres, & Madera, 2008).

II.5.1. Aguas residuales urbanas

Son aquellas aguas que se caracterizan por ser residuos líquidos de un aglomerado urbano; de los cuales provienen de las actividades domésticas e industriales, siendo transportadas por una red de alcantarillado. Las excretas humanas y animales pueden contener una variedad de patógenos transmisibles, como virus, bacterias, protozoos y gusanos (United Nations Environment Programme, 2016).

Según la OMS (2018), menciona que las aguas residuales son consideradas como un recurso que proporciona agua y nutrientes seguros para la producción de alimentos con el propósito de mantener a las crecientes poblaciones urbanas. Sin embargo, ello exige:

- Protocolos de gestión que certifiquen que las aguas residuales estén controladas por tratamientos y reutilizadas en condiciones de salubridad.
- Supervisión y reglamentación institucionales
- Capacitación pública para comunicar a la sociedad sobre el uso de las aguas residuales.

II.5.2. Características de las aguas residuales

Las características de las aguas residuales se clasifican en físicas y químicas.

II.5.2.1. Características físicas

Los parámetros físicos dan una idea aproximada de la calidad de las aguas residuales. Las principales características físicas de las aguas residuales son: color, olor, temperatura, turbidez, sólidos.

Color

El color de las aguas residuales es provocado por sólidos en suspensión y sustancias en solución. El color característico de las aguas residuales es gris claro o marrón, pero cuando se deja en la red de alcantarillado durante mucho tiempo, provocando condiciones anóxicas, obteniendo un cambio de color a gris oscuro y eventualmente negro, dado que, se debe por la formación de sulfuros metálicos producidos por la reacción de sulfuros liberados en condiciones anaeróbicas (Ramos et al., 2003).

Olor

El olor desagradable que emiten las aguas residuales es producto de los gases liberados por la degradación de la materia orgánica. El olor típico de las aguas residuales de las fosas sépticas se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno, que se produce cuando el sulfato se reduce a sulfito por la acción de microorganismos anaeróbicos (Sainz Sastre, 2005).

Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante, que interviene en la velocidad de las reacciones químicas, degradando la materia orgánica. Para que se desarrolle la actividad bacteriana, la temperatura debe estar entre 25 y 35 °C. Al alcanzar los 50°C, se detiene el proceso de digestión aeróbica y nitrificación (Delgadillo et al., 2010).

Turbidez

Este parámetro mide el grado en que la luz es reflejada por materiales suspendidos. Esto se debe a la cantidad de materia en suspensión (lodos, materia orgánica y microorganismos) en las aguas residuales.

Sólidos

A los sólidos se los puede definir como todos los elementos o compuestos no acuosos presentes en las aguas residuales. Los sólidos se clasifican según su tamaño o en forma de sólidos en suspensión y sólidos filtrables.

Sólidos suspendidos

Son partículas flotantes, como vegetales, animales, basura, etc., así como otras partículas que pueden verse a simple vista y pueden separarse del líquido por simples medios físicos. Entre los sólidos suspendidos, se los pueden distinguir a los sólidos sedimentables porque se precipitan en el fondo del receptor por gravedad.

Sólidos filtrables

Esta fracción se compone de sólidos coloides y sólidos disueltos. La parte coloidal consta de partículas de aproximadamente entre 10^{-3} y $1 \mu\text{m}$ de diámetro. El sólido disuelto consta de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas y iones disueltos en agua.

II.5.2.2. Características químicas

Las características químicas se basan principalmente en los residuos que ingresan las aguas servidas.

Alcalinidad

La alcalinidad se refiere a la capacidad del agua para mantener su pH a pesar de recibir soluciones ácidas o alcalinas. Esto se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, estos iones se neutralizan con elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco.

Aceites y grasas

Con relación a los aceites y grasas su presencia resulta ser un problema, afectando la actividad biológica en aguas superficiales, de modo que forman películas que cubre a los microorganismos responsables de la biodegradación.

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es fundamental para el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica

requiere el suministro de oxígeno disuelto. Los microorganismos encargados de la depuración son diferentes, ya que pueden estar en presencia o ausencia de oxígeno disuelto y juegan un papel determinante en las lagunas facultativas y de maduración. Cuando el consumo excede el suministro de oxígeno, el agua está en un estado anaeróbico, pueden ocurrir problemas de olores, el proceso de purificación avanza más lenta y finalmente el purificador no puede funcionar normalmente (Campoverde Lata, 2019).

pH

El pH es un parámetro fundamental en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, y provocar reacciones secundarias dañinas. El valor del pH compatible en las aguas residuales está comprendido entre 5 y 9.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno determina el contenido de oxígeno requerido para permitir que la materia orgánica se oxide en el agua, esto permite determinar el contenido de materia orgánica en las aguas residuales. Esto es diferente de la demanda bioquímica de oxígeno y no requiere la introducción de bacterias o microorganismos. En el laboratorio, para obtener resultados, se pueden colocar oxidantes fuertes (como dicromato, Cr^{+6} se reduce a Cr^{+3}), que permite cuantificar la materia orgánica por colorimetría, que se encarga de medir la absorbancia de Cr^{+3} (Vargas, Estupiñan, & Rafael, 2016).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro mide el contenido de materia orgánica biodegradable en el agua y la cantidad de oxígeno necesaria para su descomposición. Cuando se descarga agua con alta demanda bioquímica de oxígeno en el cuerpo de agua, las bacterias y otros microorganismos tienen una rica fuente de alimento, lo que les permite multiplicarse rápidamente, sin embargo, por su aumento, consumen mayor cantidad de oxígeno del agua.

Si el valor de DBO_5 de las aguas residuales es demasiado alto o el receptor no puede diluirlo a un nivel seguro, la cantidad de oxígeno disminuirá, provocando que los peces y otros organismos acuáticos se asfixien y mueran.

Ácido sulfhídrico

Se forma descomponiendo sustancias orgánicas que contienen azufre o reduciendo sulfitos y sulfatos. Su existencia se refleja principalmente en el olor que produce, que indica la evolución y estado del agua residual.

Metano

El principal subproducto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica en las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro e inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad (García & Pérez).

II.6. Tratamientos de las aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales se basa en un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido.

Un sistema de tratamiento o estación de tratamiento de aguas residuales (EDAR) es una instalación para el tratamiento de aguas sucias o aguas residuales, que combina diversos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos para eliminar sólidos en suspensión y sustancias coloidales.

El tipo de tratamiento depende de las características del líquido residual. Las aguas residuales de usos industriales requerirán un tratamiento más severo que las de origen doméstico; asimismo, las de usos agrícolas requerirán un tratamiento especial debido a la gran cantidad de residuos orgánicos (Ainhoa et al., 2013).

II.6.1.1. Tratamiento preliminar

Las aguas residuales contienen varios elementos que deben eliminarse con anticipación. La mayoría de los recolectores de aguas residuales suelen ser

unitarios, por lo general no solo recolectan agua, sino que también recolectan basura y desperdicios de la sociedad (Muñoz, 2015).

Este tratamiento consiste en la retención de sólidos gruesos y finos con densidad mayor al agua, con el fin de eliminar materiales flotantes y arena que no puedan interferir con el proceso de tratamiento posterior. Estas operaciones tienen categorías como desbaste, eliminación de arenas y desengrasado.

II.6.1.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se trata de la aplicación de los procesos físico-químicos como coagulación y floculación. Se lleva a cabo de una decantación física natural para la eliminación de sólidos en suspensión y una flotación natural de las partículas menos densas que no hayan podido eliminarse en el pretratamiento (Muñoz, 2015).

Para este tratamiento se utilizan agentes químicos que vuelven inestables las suspensiones coloidales, facilitando así su floculación, obteniendo partículas fáciles de sedimentar. Las sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) se usan generalmente con polielectrolitos orgánicos, y su propósito también debe ser promover la floculación (Pidre & Salas, 2007).

Los sólidos se depositan en el fondo mientras que las partículas se retiran mediante rasquetas giratorias en la superficie. El agua decantada se vierte en un canal que la conduce hacia el tratamiento secundario de aguas residuales.

II.6.1.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario o tratamiento biológico, se usa principalmente para la remoción de DBO y sólidos suspendidos, debido a que otros contaminantes que con el tratamiento primario no fueron eliminados (Cano, 2015).

Parte de la materia orgánica es oxidada por la flora bacteriana para obtener la energía necesaria para mantener la célula activa. El propósito del tratamiento secundario es incluir procesos biológicos, en los que dominan las reacciones bioquímicas producidas por los microorganismos, y estos a su vez pueden eliminar eficazmente del 50% al 95% de la DBO (Perez, Yurico, & Sernaque, 2016).

II.6.1.4. Tratamiento terciario

La necesidad de implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final que se pretenda dar a las aguas residuales tratadas. Este tratamiento tiene como objetivo lograr una eficacia de remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Perez, Yurico, & Sernaque, 2016).

El nitrógeno se puede eliminar por sistemas de nitrificación–desnitrificación, pero es costoso. Sin embargo, este sistema consta de una parte aerobia y una parte anaeróbica. En la parte aeróbica el nitrógeno amoniacal se oxida inicialmente a nitrógeno nitroso y posteriormente a nitrógeno nítrico, y de la parte anaerobia en la que los nitratos se reducen dando como producto final nitrógeno gaseoso que se desprende a la atmósfera (Muñoz, 2015).

II.6.2. Tratamientos de eliminación de contaminantes emergentes

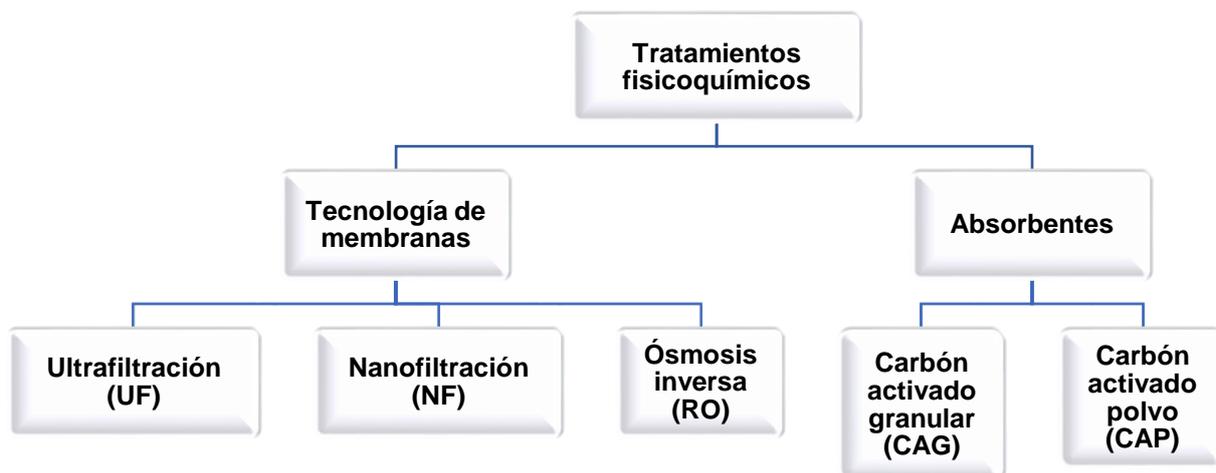
Los tratamientos de aguas residuales empleando métodos convencionales no son del todo satisfactorios, llegando a detectarse un sinnúmero de CEs sin ningún tipo de alteración aún después de la aplicación de los métodos tradicionales de eliminación.

Considerando que es necesario la identificación de nuevas tecnologías de eliminación en los tratamientos de aguas residuales, evaluando su eficacia en la remoción de los CEs, con el fin de minorizar estas sustancias tóxicas que afectan la salud y el medio ambiente.

II.6.2.1. Tratamientos fisicoquímicos

En relación con los tratamientos fisicoquímicos existen procesos habituales de tratamiento de aguas como la coagulación y la floculación. Sin embargo, estos procesos no pueden eliminar estos compuestos emergentes clasificados como productos farmacéuticos, disruptores endocrinos y productos de aseo personal (Gil et al., 2012).

En el **Esquema 1**, se puede observar la clasificación de tratamientos fisicoquímicos utilizado para la reducción de contaminantes emergentes.



Esquema 1. Clasificación de los procesos fisicoquímicos

Elaborado por: Autores

II.6.2.1.1. Tecnología de membranas

Los procesos de membranas aplicables son microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (RO). En cuanto a la MF y UF son utilizados con frecuencia para apoyar otras tecnologías de tratamientos.

Las membranas se producen a partir de diferentes materiales, que da lugar a características de filtrado específicas (por ejemplo, tamaño de poro, carga superficial e hidrofobicidad) por el cual determinan el tipo de contaminante que se puede retener (Rodríguez et al., 2017).

En los últimos años se ha incrementado la aplicación de membranas en los tratamientos de agua. Una de las grandes ventajas de estos sistemas de filtración es que pueden retener grandes cantidades de moléculas presentes en el agua, incluido los CE; sin embargo, no permiten la degradación de las mismas, de modo que se concentran en forma de residuos sólidos, requiriendo de un tratamiento adicional posterior, y, por tanto, encareciendo los costos del proceso (Homen & Santos, 2011).

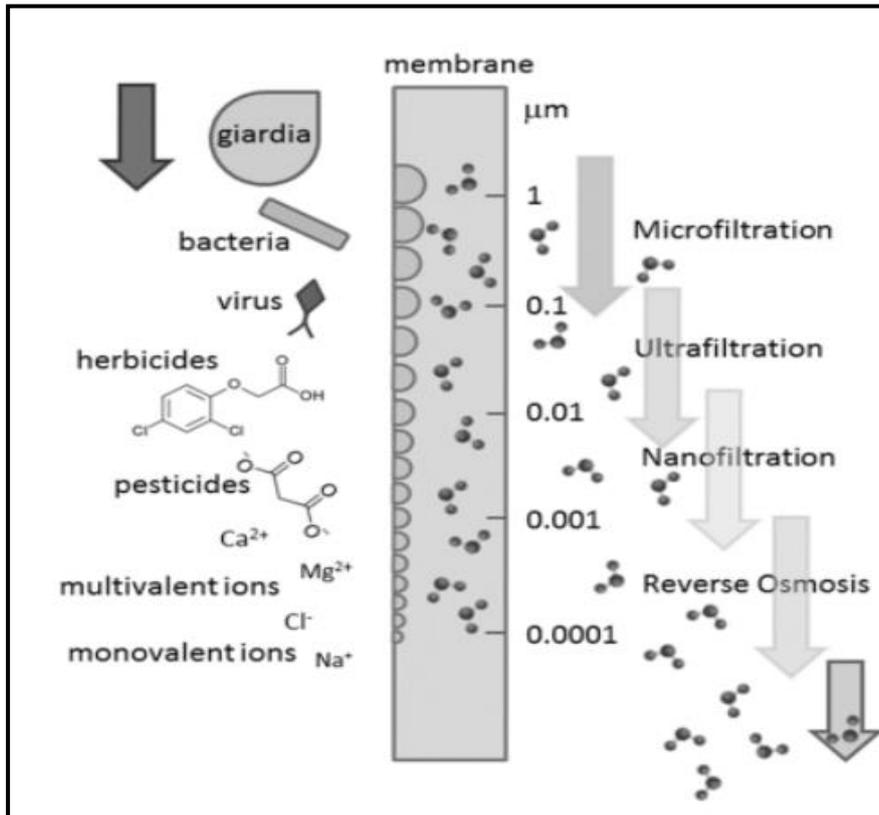


Figura 2. Muestra una representación esquemática de los diferentes tipos de membranas, rangos de tamaño de poros y contaminantes de agua eliminados con los diferentes tamaños de poros y tipo de membrana.

Fuente: Meng et al. (2015).

II.6.2.1.1.1. Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es un proceso de membrana que se utiliza para la eliminación de partículas suspendidas, materia coloidal, sustancias de alto peso molecular en varios cuerpos de agua. Además, la UF logra separar partículas que se encuentran en el rango entre 0,001 μm a 0,05 μm . El solvente y los solutos de bajo peso molecular (tales como azúcares, sales, aminoácidos) pasarán a través de la membrana, quedando retenidas las grandes moléculas (Urosevie & Trivunac, 2016).

En la UF el tamaño de poros se expresa en términos del peso molecular de las sustancias que pueden ser retenidas por la membrana. En la actualidad, las membranas de ultrafiltración son aplicadas en la regeneración de las aguas residuales, ya sea porque están presentes en los biorreactores de membrana (MBR), que son tecnologías que se utilizan en la combinación de los procesos

biológicos del fango activado con separación física por membrana (Benites, 2019).

Las membranas pueden clasificarse en función de su material en dos tipos:

- ❖ **Orgánicas:** Están por formadas por polímeros, donde destacan la polisulfona, poliétersulfona, acetato de celulosa, etc. Sin embargo, la elección del polímero a emplear dependerá de las características de la membrana tales como hidrofobicidad y resistencia química.

- ❖ **Inorgánicas:** Son las membranas con mayor costo actualmente, están compuestas por óxidos de aluminio, titanio o silicio. Presentan una gran resistencia térmica, mecánica y química a diferencia de las membranas orgánica.

Las membranas de la ultrafiltración de material orgánico, en función a su geometría pueden clasificarse en: planas, arrollamiento en espiral, tubulares y fibras huecas (Ferrer et al, 2018).

- ❖ **Planas:** Las membranas presentan una configuración tipo emparedado, colocándose entre estas un espaciador, el cual permite el paso de la corriente de alimento.

- ❖ **Arrollamiento en espiral:** Esta configuración consiste en enrollar alrededor de un tubo colector de permeado, una serie de membranas planas con sus respectivos espaciadores, haciendo que estos últimos adicionalmente cumplan la función de promotores de turbulencia. Son las más empleadas a nivel industrial, gracias a su alta compactación.

- ❖ **Tubulares:** Las cuales generalmente presentan diámetros mínimos 10mm. Pueden colocarse dentro de un módulo de membranas en número variable, desde 1 hasta 18, aproximadamente. Dentro de las membranas tubulares, las membranas de fibra hueca están compuestas de fluoruro de polivinilideno (PVDF) y poliétersulfona (PES) son las más empleadas en las estaciones depuradoras de aguas residuales debido a su alta resistencia al cloro y al ácido.

II.6.2.1.1.2. Nanofiltración

La Nanofiltración (NF) es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1000 daltons) son

retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado (Beier et al., 2010). Este sistema provee un rango de selectividad entre las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalación de solutos orgánicos (Vázquez, 2018).

Una de las ventajas es que el proceso de NF elimina color, dureza y es adecuada para el control de los subproductos de desinfección. Algunos sectores de aplicación son:

- ❖ Recuperación de cáusticos y ácidos.
- ❖ Eliminación de pesticidas.
- ❖ Eliminación de metales pesados.
- ❖ Reciclado de agua en lavanderías.
- ❖ Ablandamiento del agua.

II.6.2.1.1.3. Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa (RO), también conocida como hiperfiltración, puede separar sustancias muy pequeñas, como los iones inorgánicos. Para ello, la fuerza impulsora (diferencia de presión) debe ser mayor que la presión osmótica. Estas membranas son de tipo asimétrico con una capa homogénea, dejando pasar el agua y reteniendo, entre un 90 y un 99% de los elementos minerales disueltos, del 95 al 99% de los elementos orgánicos y, prácticamente, el 100% de los organismos y las materias coloidales más finas (bacterias, virus, sílice coloidal, etc.). El mecanismo de separación es de solución-difusión a través de la membrana (Beier et al., 2010).

II.6.2.1.2. Empleo de adsorbentes

Por consiguiente, el empleo de los procesos de absorción para la reducción de los CE no produce subproductos indeseables en el agua. Sin embargo, cuando se usa carbón activado para tratar de absorber los contaminantes emergentes polares, se requiere una gran cantidad de adsorbente.

Usualmente el carbón activado es el material más utilizado debido a su alta porosidad y superficie específica, estas características hacen que sea altamente adsorbente y eficaz para eliminar una variedad de contaminantes en aguas. Se han realizado numerosos estudios donde se evalúa la absorción de

contaminantes emergentes individuales usando carbón activado, eliminando ciertos fármacos y disruptores endocrinos (Rodríguez et al., 2017).

Existen muchos factores que influyen en la adsorción tales como la estructura molecular, solubilidad, peso molecular, problemas de difusión interna, polaridad y grado de saturación.

Según Rodríguez et al., (2016) existen dos procesos de absorción que incluye la utilización de carbón activado, con diferentes propiedades y aplicaciones.

II.6.2.1.2.1. Carbón activado granular (CAG)

En este proceso de eliminación se utiliza para degradar elementos trazas, principalmente compuestos orgánicos, que están presentes en el agua.

Comúnmente se utiliza una columna como medio de contacto entre el carbón activado y el agua a tratar, donde el agua entra por el fondo y asciende hacia arriba, purificando el agua y eliminando sustancias contaminantes.

Considerando que el tamaño de partícula del CAG es mucho mayor que el carbón activado en polvo. Estos pueden retener a moléculas que se encuentran en pequeñas concentraciones, que en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.

II.6.2.1.2.2. Carbón activo en polvo (CAP)

El proceso de carbón activo en polvo se utiliza para degradar los elementos orgánicos que pueden resultar ser tóxicos presentes en el agua.

Usualmente se le añade al agua a tratar y por un tiempo se le realiza una agitación, dejando sedimentar las partículas para su separación previa.

Existen varias alternativas al carbón activado como son las zeolitas y arcillas con su clasificación, estos son los denominados adsorbentes de bajo costo y en su mayor parte estos provienen de residuos orgánicos.

II.6.2.2. Tratamientos biológicos

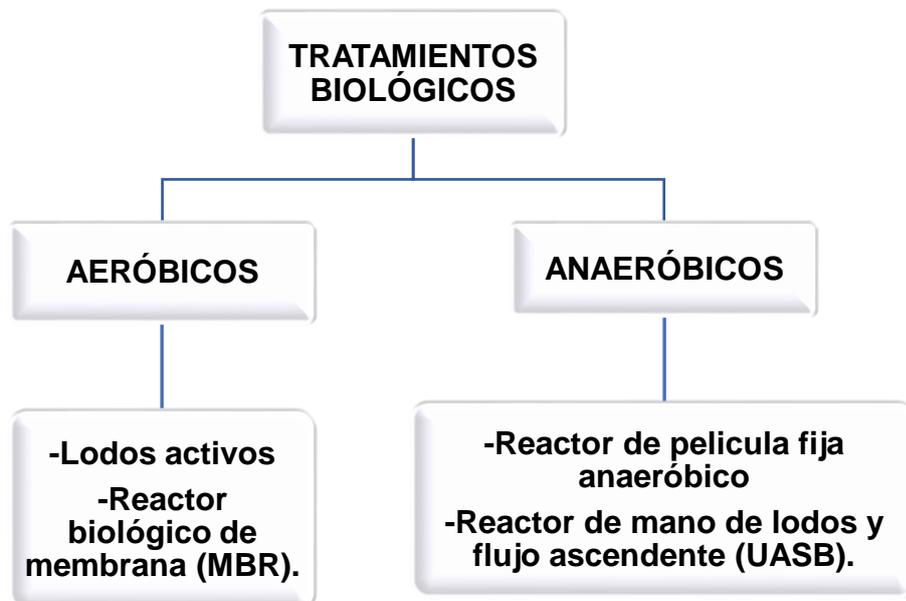
Estos procesos de tratamiento suelen utilizar microorganismos (básicamente bacterias), pero en raras ocasiones se utilizan hongos, protozoos, algas, etc., cuyo objetivo es la eliminación de compuestos indeseables del agua en la degradación de materia orgánica. Estos tratamientos se utilizan en todos los

ámbitos de descontaminación del agua, no solo en las aguas residuales, sino en gran parte de aguas residuales industriales.

Resulta claro mencionar que para el desarrollo de los microorganismos se utiliza como fuente de energía y de carbono a la materia orgánica. Cabe destacar que es de gran importancia estos nutrientes para su crecimiento y poder desempeñar sus funciones, especialmente que incluyan la presencia de nitrógeno y fósforo.

En la actualidad las plantas de tratamiento de aguas convencionales ya disponen en el tratamiento secundario de un reactor biológico, por lo que, si se consiguen eliminar los CE's mediante estos procesos, se podría evitar la necesidad de nuevas etapas de tratamiento. Mediante reactores es donde se originan los procesos de biodegradación, y dependerá de su diseño y condiciones de operación (pH, temperatura y carácter aerobio o anaerobio del sistema) que consigan o no las condiciones óptimas para el crecimiento microbiano (Escobar, 2019).

Dentro de las distintas modalidades de tratamiento se encuentran los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos.



Esquema 2. Clasificación de los procesos biológicos

Elaborado por: Autores

II.6.2.2.1. Procesos biológicos aeróbicos

La presencia de oxígeno (O_2) hace que este elemento sea el aceptor de electrones, es decir se logra obtener unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al crecimiento de bacterias aeróbicas. Sin embargo, la baja solubilidad del oxígeno en agua puede ajustar enormemente su aplicación en aguas residuales (Escobar, 2019).

En los procesos de depuración aerobios el oxígeno es un sustrato imprescindible, por lo que es necesario adicionarlo de forma eficaz en los reactores, con la ayuda de motores soplantes y difusores, u otros medios de aireación existentes. El tratamiento aerobio permite obtener efluentes de mayor calidad que los procesos anaerobios, por lo que suele ser el tratamiento final que se aplica a las aguas residuales antes de su vertido (Martínez, 2005). En los tratamientos biológicos aerobios es necesario realizar las siguientes operaciones:

- ✓ Oxigenar: añadir el oxígeno necesario para el proceso.
- ✓ Agitar: asegurar un buen contacto de los microorganismos, la materia orgánica y el oxígeno.
- ✓ Concentrar: maximizar la cantidad de microorganismos.
- ✓ Separar: terminado el proceso biológico hay que separar la biomasa del agua tratada.

II.6.2.2.1.1. Lodos activos

La planta de lodos activados es un sistema de mezcla completo, el ambiente aeróbico en el reactor se logra mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden ubicarse en el lecho o en la superficie. Después de cierto tiempo, la mezcla de células nuevas y células viejas se introduce en el tanque de sedimentación y se separa vertiendo las aguas residuales tratadas. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema (Bui et al, 2016).

En el reactor aeróbico o lodos activados se provee el oxígeno requerido para que las bacterias aeróbicas degraden la materia orgánica. El clarificador secundario remueve la biomasa producida durante la degradación bacteriana aeróbica y el efluente del clarificador pasa a un tratamiento terciario en el cual

se realiza un proceso de nitrificación y desnitrificación para remover el exceso de nutrientes.

En los procesos de depuración aerobios el oxígeno es un sustrato imprescindible, por lo que es necesario adicionarlo de forma eficaz en los reactores, con la ayuda de motores soplantes y difusores, u otros medios de aireación existentes. El tratamiento aerobio permite obtener efluentes de mayor calidad que los procesos anaerobios, por lo que suele ser el tratamiento final que se aplica a las aguas residuales antes de su vertido.

El uso de lodos activados proporciona una alternativa eficaz porque cuentan con una variedad de microorganismos capaces de eliminar materia orgánica, patógenos y nutrientes (nitrógeno y fósforo), por lo que este es un método ideal para el tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales.

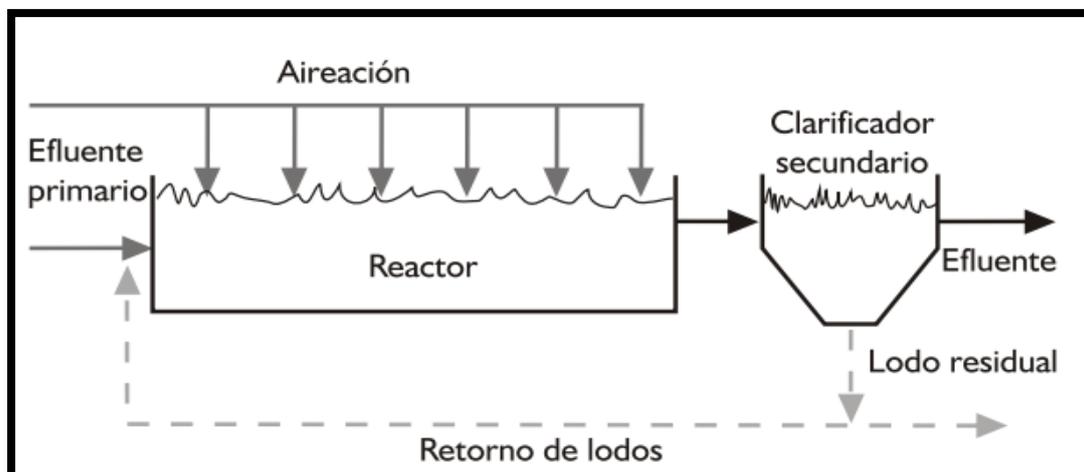


Figura 3. Esquema del proceso de lodos activado aeróbicos

Fuente: Bui et al. (2016)

El proceso de lodos activos es muy eficaz en la eliminación de compuestos endocrinos en un rango de 75-100%. Algunos disruptores endocrinos como la androstenediona, androsterona, estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), estradiol (E3) y 17 α -etinilestradiol (EE2), progesterona, testosterona, bisfenol A y octilfenol, tienen la mayor eliminación de estrógenos hasta el 100% a un nivel de concentración de 15 a 700 mg/L. Esto se debe a su estructura, unión relativa, biotransformación y afinidad (Ahmed et al., 2016).

II.6.2.2.1.2. Proceso de biorreactores de membrana

Consiste en la combinación de los procesos biológicos de fangos activos con el tratamiento por filtración mediante membranas, para separar los sólidos del fango activo del agua.

En la actualidad existen numerosas modificaciones al proceso de fangos activados, una de ellas es el proceso de biorreactor de membrana (BRM). Varios estudios sugieren que la tecnología BRM revolucionará en el tratamiento de aguas residuales, debido a que este proceso involucra dos procesos en uno: el reactor biológico y la separación de sólidos mediante membranas de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF) (Gámez, Rosell, & Salazar, 2009).

Básicamente el proceso BRM, comparado con el proceso convencional de fangos activados, ayuda controlando el proceso biológico, teniendo un mayor tiempo de retención de los sólidos orgánicos, estos funcionan de manera independiente del tiempo de retención hidráulica, así mismo, elimina un alto porcentaje de los sólidos en suspensión y los microorganismos (Gámez, Rosell, & Salazar, 2009). En la **Figura 4** se puede observar el esquema de una planta que utiliza el tratamiento por MBR.

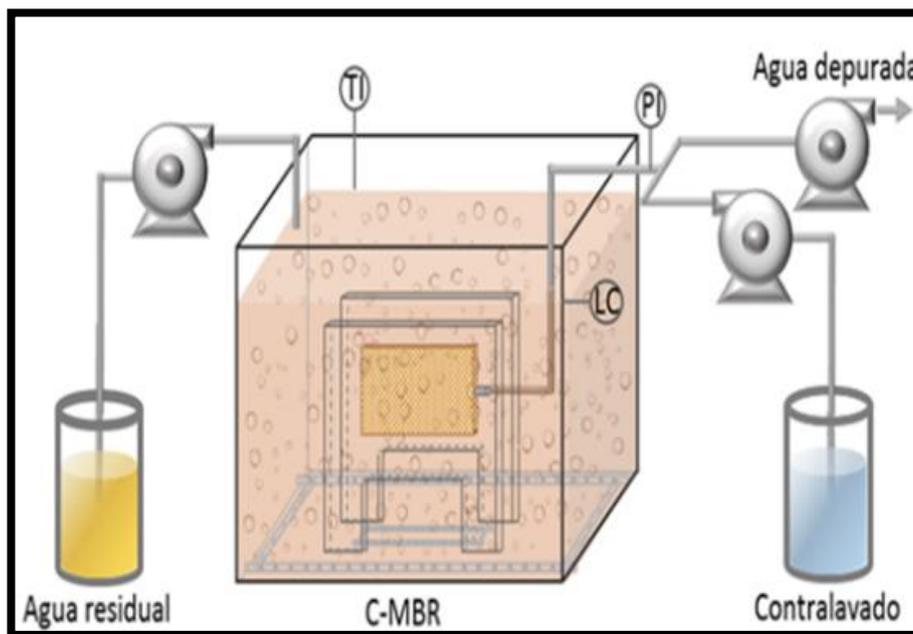


Figura 4. Esquema de la planta del proceso de MBR.

Fuente: Ugarte et al. (2017)e, y otros, 2017)

II.6.2.2. Procesos biológicos anaeróbicos

Son procesos muy utilizados en el tratamiento de aguas residuales. De tal manera que poseen una abundante carga de materia orgánica, se los considera una alternativa eficaz y económica en relación con los procesos aeróbicos, debido al suministro de oxígeno.

En cuanto a los sistemas anaeróbicos, el aceptor de electrones puede ser parte del CO₂ o de la materia orgánica, por lo tanto, el carbono en su estado inferior llega a ser producto de esta reducción. Las bacterias participan en este proceso, a través de una serie de etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) y en ausencia de oxígeno degradan los compuestos orgánicos produciendo metano y dióxido de carbono (Escobar, 2019).

Estos procesos retienen los lodos dentro del biorreactor, generando de esta manera concentraciones altas de microorganismos, mientras que el agua residual fluye a través del reactor. Los biorreactores de crecimiento suspendido con recirculación y los biorreactores de crecimiento adherido son ejemplos de tratamientos anaeróbico de “tasa alta”.

En todo caso la materia orgánica se convierte de manera primordial en metano y dióxido de carbono, en la mezcla de lodos primarios y secundarios. Estos procesos biológicos se los lleva a cabo mediante un reactor cerrado (Lorenzo & Obaya, 2006).

En efecto, estos procesos están siendo utilizados en los tratamientos de aguas residuales agroindustriales como las de la fabricación de bebidas alcohólicas, productos lácteos y cárnicos. Estos sistemas son más eficaces y económicos cuando hay elevada concentración de compuestos orgánicos biodegradables (Arango, 2010).

II.6.2.2.2.1. Biorreactor anaerobio de película fija

Fundamentalmente este tipo de reactores se caracteriza por contar con un medio de soporte o empaque sobre el que se desarrolla una película biológica.

La película biológica está compuesta, principalmente, por bacterias y protozoarios. El agua escurre sobre la película y de esta forma es que entra en contacto con los microorganismos y con el aire (Calderon, 2015).

En estos reactores es importante la fase de arranque para poder conseguir una biopelícula estable y bien adherida, que permita una buena eficiencia de eliminación de materia orgánica (Martínez, 2005).

Por otro lado, se han obtenido rendimientos satisfactorios del 90% en el tratamiento de aguas residuales con altos contenidos en grasas, como son los efluentes del procesado de aceite de palma, trabajando con tiempos de residencia hidráulicos elevados (15-16 días).

II.6.2.2.2. Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB, del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

EL reactor UASB es un tanque en el cual las aguas residuales son introducidas en la parte inferior y salen por la parte superior, formando un flujo ascendente, siendo la mezcla del sistema promovida por el flujo ascensional del fluido y por las burbujas de gas. El tratamiento de aguas residuales mediante el reactor anaeróbico presenta ventajas, que lo hace un proceso competitivo, tanto tecnológicamente como económicamente frente a otros procesos. A escala industrial es el reactor anaeróbico más utilizado.

En la **figura 3** se presenta un esquema de un reactor UASB, que consiste básicamente de 3 zonas:

- ✓ Zona de entrada: donde el efluente a ser tratado es uniformemente distribuido en la base del reactor y encaminado ascensionalmente a la zona de digestión.
- ✓ Zona de digestión: el efluente pasa a través de un lecho de bacterias anaerobias donde los contaminantes son degradados y transformados en gas.
- ✓ Zona de sedimentación: está localizada en la parte superior del reactor, allí sucede la separación del gas, sólido y líquido (Arango, 2010)

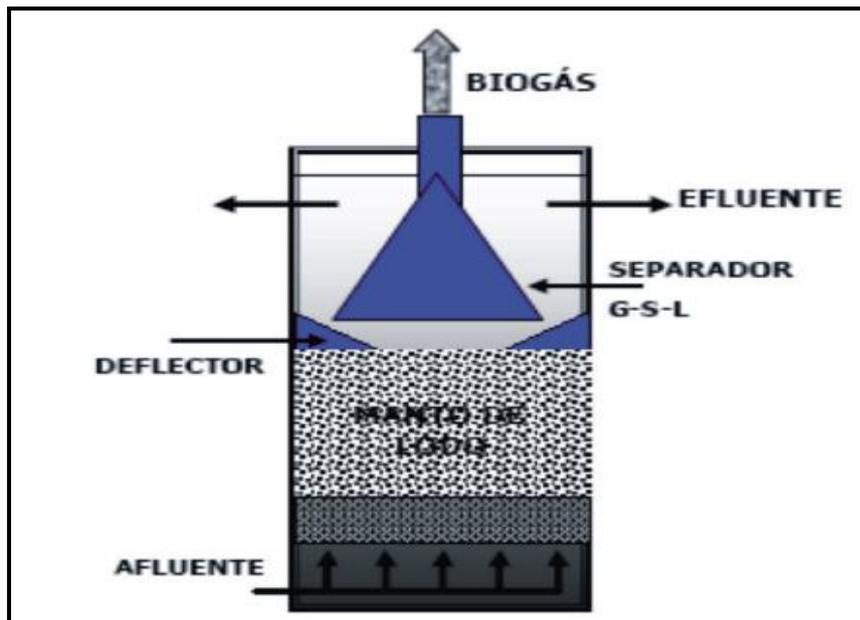


Figura 5. Esquema de Reactor UASB.

Fuente: Arango (2010)

Una gran ventaja del reactor UASB es la producción de biogás durante el proceso de biodigestión anaeróbica. Se denomina biogás a todo compuesto gaseoso producido por la digestión anaeróbica, aprox. 60% metano y 40% dióxido de carbono. La producción de este gas está directamente relacionada con la cantidad de materia orgánica estabilizada. Durante la biodigestión anaeróbica de 1 g DQO con 100% de eficiencia se produce 12.78 kJ de energía en forma de metano (Romero, 1999).

Evidentemente el reactor UASB se diseñó inicialmente para tratar aguas con una alimentación de alta concentración de materia orgánica (DQO > 2000 mg/L). Sin embargo, existen varios estudios que aseguran que se puede aplicar eficientemente un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales menos concentradas (López, 2011). La mayor problemática al tratar aguas residuales con concentraciones bajas de materia orgánica es la presencia de oxígeno disuelto que puede ser tóxico e inhibir la actividad microbiana.

Por lo tanto, en términos energéticos y financieros, el proceso anaeróbico se caracteriza por tener una alta eficiencia, ya que no requiere de un sistema de aireación como se aplica en los procesos aeróbicos, a fin de generar biogás con elevado valor energético y la producción de la biomasa es cinco veces menor que aquella formada durante el tratamiento aeróbico (López, 2011).

II.6.2.3. Procesos de oxidación avanzados

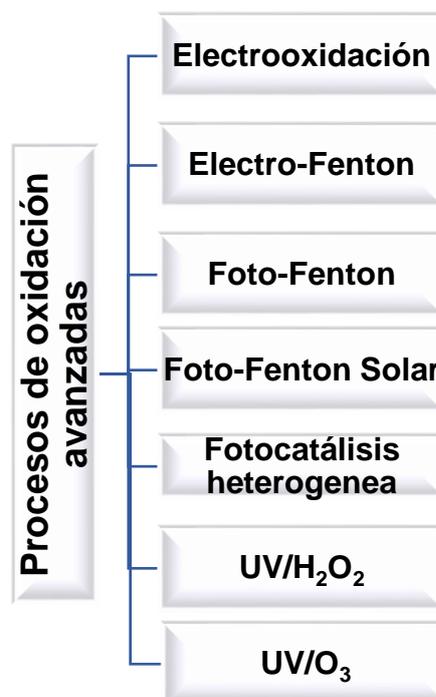
Los procesos de oxidación avanzados (POAs) se refieren a una serie de tratamientos químicos, que son considerados como tecnologías altamente competitivas en el agua, esto se debe a la generación de especies reactivas fuertemente oxidantes, como los radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$).

En definitiva, los radicales $\bullet\text{OH}$, poseen características importantes, como su alto potencial redox (2,8 eV), su alta reactividad y con poderosas capacidades oxidantes. Son capaces de atacar compuestos orgánicos a través de cuatro vías: abstracción de hidrógeno, combinación o adición de radicales y transferencia de electrones (Deng & Zhao, 2015).

Una vez que los CEs ingresan en el entorno, pueden sufrir distintos procesos mediante su eliminación por estos tratamientos químicos:

1. El compuesto se mineraliza a dióxido de carbono y agua.
2. El compuesto no se degrada fácilmente por su carácter lipofílico y queda parcialmente retenido en los fangos de la sedimentación.

En el **Esquema 3**, se puede observar algunos de los POAs que se utilizan como tratamiento para la degradación de los CEs.



Esquema 3. Clasificación de los procesos de oxidación avanzados

Elaborado por: Autores

II.6.2.3.1. Proceso de electrooxidación

Es un proceso que tiene como objetivo la mineralización de compuestos orgánicos. Consiste en la aplicación de una corriente continua en una celda electroquímica, luego se desarrolla una combustión electroquímica y se generan radicales libres (Barrios et al., 2014).

El propósito de la electrooxidación es el aprovechamiento de las reacciones redox. Los causantes de la degradación de los contaminantes orgánicos son los radicales libres y, en particular, los responsables de atacar compuestos orgánicos como el fenol y las hormonas son los radicales $\bullet\text{OH}$ (Barrio et al., 2014).

La energía eléctrica se abastece mediante una fuente de corriente continua. El electrodo que se encuentra conectado al polo negativo se denomina cátodo, de modo que da lugar a la formación de una semirreacción de reducción, mientras que el electrodo conectado al polo positivo se denomina ánodo y en él se lleva a cabo la semirreacción de oxidación.

Para los procesos de electrooxidación se utilizan materiales anódicos estables, los más empleados son los electrodos de diamantes dopados con boro (DDB), estos poseen una alta estabilidad anódica, con un potencial de trabajo y una corriente de fondo volumétrico estable baja en medios acuosos que comúnmente son utilizados para la oxidación de varios contaminantes emergentes.

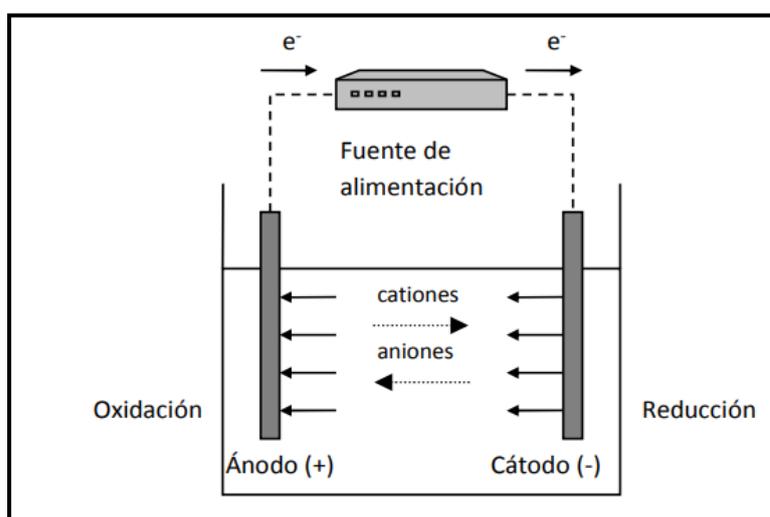


Figura 6. Esquema de una celda electroquímica

Fuente: Barrios et al. (2014)

La electrooxidación se realiza de dos maneras, por la oxidación electroquímica directa e indirecta, la oxidación directa se produce tras la absorción de la especie reactivo sobre la superficie anódica, donde tiene lugar la posterior sustracción de electrones a esta especie para generar un compuesto oxidante, que es desorbido y pasa al líquido como producto final de la reacción.

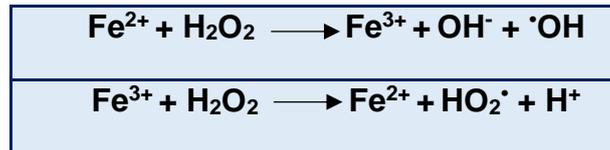
Con respecto a los métodos de oxidación electroquímica indirecta, son aquellos métodos en los que los electrones se transfieren a un agente oxidante o reductor inorgánico que puede reaccionar químicamente con el compuesto objetivo. Estas reacciones se pueden clasificar como reversibles o irreversibles, en función de que el agente oxidante o reductor pueda o no volver en su estado inicial (Martín, 2019).

Los materiales electródicos típicos utilizados para el tratamiento de agua por la oxidación electroquímica, son dióxido de estaño (SnO_2), plomo, dióxido de plomo (PbO_2), ánodos dimensionalmente estables y diamante dopado con Boro (DDB) (Sarkka, Bhatnagar, & Sillanpaa, 2015).

Estudios realizados por Puturat y Huang llevaron a cabo el proceso de electrooxidación de acesulfamo de potasio (ACE-K) en solución acuosa, así como en agua residual doméstica sin tratar, antes y después de un tratamiento biológicos. En el ánodo, los electrodos que se utilizaron fueron diamante dopado con Boro, Pt o PbO_2 , en conjunto con el acero inoxidable en el cátodo. Se evaluaron variables como densidad de corriente (j), área anódica, temperatura y matriz de agua residual. Inicialmente, con una $j = 0.1 \text{ A/cm}^2$, 2 cm^2 de área, 100 mg/L de ACE-K y $25 \text{ }^\circ\text{C}$, la degradación alcanzó el 72% después de 120 minutos con Pt, y 100% transcurridos 90 y 30 minutos con PbO_2 y DDB, respectivamente. El DDB también degradó completamente el ACE-K a 0.05 A/cm^2 , pero requirió de 90 minutos.

II.6.2.3.2. Proceso de Fenton y variantes

Este proceso se basa en la generación de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) por la adición de sales de hierro en presencia de H_2O_2 . La combinación de H_2O_2 y sales de hierro se denomina reactivo Fenton (Ec.1) (Rubio et al., 2014).



Ecuación 1. Reactivo Fenton

En la anterior ecuación se observa la formación de los radicales hidroxilo, que se forma a partir de la descomposición del peróxido de hidrógeno por efectos del hierro, el cual cambia de estado de Fe^{+2} a Fe^{+3} (Salas, 2010).

Además de formarse radicales $\cdot\text{OH}$, se generan radicales perhidroxilo ($\text{HO}_2\cdot$), puesto que, inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar materia oxidable.

Una de las condiciones para este proceso es mantener un pH óptimo que oscila entre 2 y 4, ya que un valor mayor a 4, propiciaría la precipitación del hierro como hidróxido férrico, separándolo del medio acuoso.

Una de las ventajas del reactivo de Fenton es que no requiere de energía externa para descomponer al peróxido de hidrógeno en sus radicales hidroxilo, haciéndolo un método sencillo y efectivo de catálisis homogénea.

En cuanto a las desventajas del método, ocurre cuando en disolución existe la presencia de aniones disueltos tales como fosfatos, cloruros, nitratos, etc., éstos pueden provocar una reacción de complejación con el hierro, disminuyendo la capacidad del Fe^{+2} (Juárez, 2020).

Este proceso es considerado eficiente para la degradación de contaminantes, debido a que es muy efectivo en la formación de $\cdot\text{OH}$. El uso de concentraciones de H_2O_2 superiores a las estequiométricas no mejorará la eliminación de sustancias orgánicas en el proceso Fenton. Si bien este exceso conduce a una mayor producción de radicales $\text{HO}\cdot$ o a una mayor regeneración de Fe^{2+} , propicia una mayor contribución de reacciones que implican la desaparición.

II.6.2.3.3. Electro-Fenton

La tecnología de EF se basa en la electrogeneración continua de H_2O_2 en un cátodo apropiado que se alimenta con O_2 o aire, adicionándole un catalizador de hierro a la solución para la producción de $\cdot\text{OH}$ a granel mediante una reacción de Fenton (Nidheesh & Gandhimathi, 2012).

El proceso electro-Fenton (EF) no es más que una reacción de Fenton asistida por electricidad. En este método, el reactivo de Fenton se añade a un reactor en el que el ánodo es un electrodo inerte, o puede llevarse a cabo mediante la generación eléctrica del cátodo de peróxido de hidrógeno.

Las ventajas del proceso de tratamiento de EF incluyen la generación in situ de H_2O_2 y la mayor tasa de degradación de contaminantes orgánicos, debido a la continua regeneración de Fe^{2+} en el cátodo, que también minimiza la generación de lodos.

El proceso electro-Fenton requiere del catión Fe^{2+} y de H_2O_2 , ya sea que se generen dentro de la celda electroquímica o que desde el exterior se añadan a la misma, con el propósito de producir radicales $\bullet OH$. Las tres combinaciones para llevarlo a cabo son:

- 1) adición de Fe^{2+} con generación electroquímica de H_2O_2
- 2) adición de H_2O_2 con Fe^{2+} electrogenerado
- 3) electrogeneración de H_2O_2 y Fe^{2+} .

El mecanismo más comúnmente explicado contempla la generación de H_2O_2 a través de la reducción de oxígeno en la superficie del cátodo.

Según He & Zhou (2017), los factores que se ha reconocido que influyen en electro-Fenton son:

- 1) concentración de la relación Fe^{2+}/Fe^{3+}
- 2) concentración de H_2O_2
- 3) concentración inicial de contaminantes,
- 4) pH, electrolito como Na_2SO_4 , KCl, NaCl, $NaNO_3$ o $NaClO_4$ en el rango de 50 a 100 mM.
- 5) velocidad de rociado de oxígeno
- 6) modo de alimentación de oxígeno
- 7) densidad de corriente
- 8) temperatura de operación
- 9) materiales electródicos
- 10) distancia entre electrodos.

Finalmente, Sedaghat et al, (2016) investigaron la eficiencia de la degradación del imidacloprid (20 mg/L) mediante los procesos EF y UV/EF, utilizando un electrodo de grafito, con una eficiencia de degradación de 59,23 y 80,49 % para el EF y el UV/EF respectivamente. En este estudio las condiciones fueron, pH de 2.8, en concentración de Fe^{2+} de 0,36 mM y 0,15 mM de Na_2SO_4 , que se utilizó como electrolito.

Lin et al., (2017) estudiaron la degradación de sacarina (SAC) por medio del proceso electro-Fenton en medio acuoso. Las pruebas se realizaron en una celda de vidrio cilíndrica con capacidad de 250 mL para reservar 220 mL de solución. Los ánodos colocados en el centro de la celda fueron DDB, Pt o una mezcla de óxidos metálicos, comprendidos dentro de un grupo general de materiales anódicos conocido como ánodos dimensionalmente estables. El cátodo de fieltro de carbono que cubría el interior del cilindro también rodeaba al ánodo. Elementos adicionales constaron de 50 mM de Na_2SO_4 , catalizador Fe^{2+} y pH igual a 3. En cuanto a los porcentajes de remoción de CO, se lograron el 76.1% con Pt y 96.2% con DDB.

II.6.2.3.4. Proceso de foto Fenton

Este proceso es conocido cuando la reacción de Fenton involucra fuentes de energía artificial como la radiación ultravioleta y la luz visible. Se destaca por ser uno de los métodos más eficientes para generar radicales $\cdot\text{OH}$, por encima de algunos otros POAs (Quiroz, Bandala, & Martinez, 2011).

Consiste en una versión mejorada de la reacción Fenton con la presencia de radiación UV. Por lo general, la radiación UV aumenta la velocidad de formación de radicales $\cdot\text{OH}$ y además mejora la regeneración del catalizador ferroso por la reducción de iones Fe^{3+} y la destrucción de complejos férricos, permitiendo de esta manera que el ciclo de reducción-oxidación continúe tanto tiempo como esté disponible el H_2O_2 en el medio reaccionante de acuerdo con la **Ec.2** (Cruz et al., 2017).



Ecuación 2. Proceso de foto Fenton

Cuando la irradiación es utilizada con un intervalo entre 200 y 550 nm de longitud de onda, se puede decir que generan mayores tasas de degradación de

los contaminantes y un uso más eficiente de los reactivos (Pignatello, Oliveros, & Mackay, 2006). Una de las desventajas de este tipo de procesos es el incremento en los costos, por lo que se ha considerado otras opciones para abatir los costos asociados y se propone el uso de energía solar gratuita y renovable con longitudes de onda superiores a los 300 nm. Cuando esto sucede al proceso se lo conoce como foto Fenton solar.

De acuerdo con el estudio realizado sobre los efluentes secundarios de una planta purificadora de aguas residuales que están siendo contaminadas con diuron, se utilizaron concentraciones de 5 mg/L Fe^{2+} y 50 mg/L H_2O_2 , en el proceso de foto-fenton, obteniéndose una degradación eficaz del 97 % en 50 minutos (Klamerth, Malato, Aguera, & Fernandez-Alba, 2013).

Foto-Fenton Solar

La reacción de Fenton consiste en un sistema químicamente complejo que involucra la generación de especies altamente oxidantes a partir de la reacción de las sales de hierro y el peróxido de hidrógeno. Por lo tanto, cuando la mezcla incide con radiación UV o energía solar se ve incrementada la velocidad de la reacción, obteniendo mejores resultados con estos procesos de eliminación de contaminantes (Cardenas et al, 2019).

Varios factores han sido identificados como influyentes en este proceso de degradación, tales como: pH, concentración de hierro, relación de concentraciones iniciales de peróxido de hidrógeno y contaminantes, intermediarios de reacción, nivel de radiación y temperatura, entre otros (Pignatello, Oliveros, & Mackay, 2006).

La posibilidad de usar radiación solar como fuente de radiación UV-Vis ha convertido fundamentalmente al sistema foto-Fenton solar en un proceso económico y competitivo.

En base a las tecnologías fotoquímicas solares de purificación representan una innovadora opción para el tratamiento de efluentes. La utilización de una fuente de energía renovable, abundante y limpia, significa un valioso recurso medioambiental y económico.

Los reactores del tipo CPC (compound parabolic collector), comúnmente son empleados en una planta que combina el sistema foto-Fenton solar y los

procesos biológicos aeróbicos para la degradación de efluentes industriales conteniendo MPG (α -metilfenilglicina). La concentración del contaminante en la corriente de entrada es de 600 ppm y de 400 - 600 ppm de carbono orgánico total. En la aplicación de dicho proceso se logró obtener un rendimiento del 95 % de mineralización (50 % en el pre-tratamiento foto-Fenton y 45 % en el sistema biológico). Los expertos destacan el hecho de que este diseño combinado ha contribuido a aumentar la eficiencia global del tratamiento (Malato & J. Blanco, 2007).

Una combinación a escala piloto de foto-Fenton (72 mg/L de H_2O_2 y 9,4 mg/L de Fe^{2+}) con luz solar y un sistema biológico se utilizó para la eliminación del diuron presente en soluciones reales y sintéticas, obteniéndose una mineralización de aproximadamente 80% en ambos casos y una reducción en los compuestos considerados como contaminantes orgánicos (Mendoza-Marín, Osorio, & Benítez, 2010).

Proceso de Fotocatálisis Heterogénea

El proceso de fotocatálisis heterogénea es una de las tecnologías más relevantes para la eliminación de contaminantes tóxicos presentes en aguas residuales. Consiste en la aceleración de una fotorreacción mediante la presencia de un catalizador, para excitar un material semiconductor (TiO_2), que impulse reacciones de óxido-reducción mediante pares de electrón-hueco en su superficie. En combinación con un agente que presente alta capacidad oxidante (H_2O_2 , O_3), donde generen radicales libres ($\text{OH}\cdot$) para una oxidación directa de los contaminantes (Guarín Llanes & Mera Benavides, 2011).

Este proceso de tratamiento implica la utilización de la radiación UV y un catalizador semiconductor que pueda ser excitado fácilmente, y lograr a la formación de sitios donantes y captadores de electrones, dando lugar a la aparición de reacciones de oxidación-reducción, se han descrito varios semiconductores (TiO_2 , ZnO , ZrO_2 , SnO_2 , CdS , WO_3) en la degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos.

En cuanto al catalizador ideal para este método de tratamiento, debe tener una alta estabilidad fotoquímica, y la capacidad de adsorber reactivos bajo una activación luminosa eficaz; ser barato y con una elevada disponibilidad. El TiO_2

ha sido uno de los catalizadores más comercializado debido a su baja toxicidad, alta estabilidad fotoquímica, con una aceptable energía de banda y bajo costo (Cruz-González, Julcour, & Jáuregui-Haza, 2017).

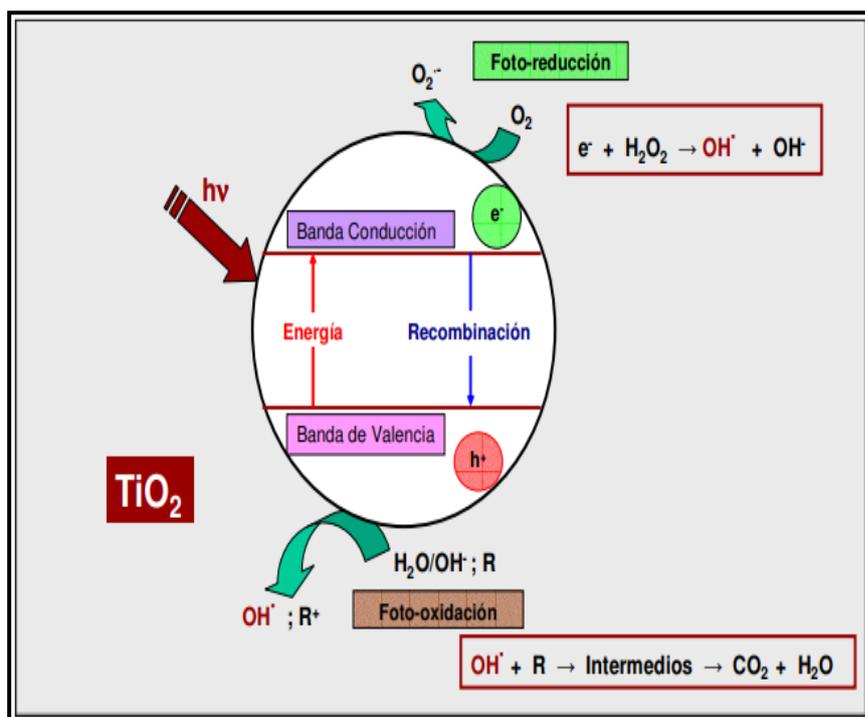


Figura 7. Esquema del proceso fotocatalisis heterogénea.

Fuente: Clemente et al. (2015)

Las sustancias redox se adsorben en partículas semiconductoras y bajo la luz. Las reacciones de oxidación y reducción ocurren continuamente en la superficie del semiconductor; los agujeros fotogenerados provocan reacciones de fotooxidación, mientras que los electrones en la banda de conducción provocan reacciones de foto-reducción, como se presenta en la **Figura 7**.

II.6.2.3.5. Proceso de oxidación por Ultravioleta/Peróxido de hidrógeno

En este proceso de tratamiento cuando se utiliza H_2O_2 como fuente de radiación ultravioleta para la fotólisis, se suele utilizar las lámparas de vapor de mercurio. El uso de H_2O_2 como oxidante, combinado con radiación UV, puede mejorar la eficiencia del proceso (Semitsoglou et al., 2016), ya que con la fotólisis del H_2O_2 tiene lugar la formación de los radicales hidroxilos, reacción expresada por la ecuación (3.1), que en presencia de contaminantes orgánicos forman compuestos más simples, como se expresa en la ecuación (3.2).

También tienen lugar otras reacciones de propagación asociadas a este fenómeno. Las principales reacciones de este mecanismo vienen dadas por las ecuaciones (3.1), (3.4):

$\text{H}_2\text{O} + h\nu \longrightarrow 2 \text{OH}\cdot$	3.1
$\text{RH} + \text{OH}\cdot \longrightarrow \text{productos finales } (\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{otros productos de degradación})$	3.2
$\text{OH}\cdot + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}_2\cdot + \text{H}_2\text{O}$	3.3
$\text{OH}\cdot + \text{OH}\cdot \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	3.4

Ecuación 3. Proceso de UV/H₂O₂

Según los estudios realizados por Lekkerkerker et al., (2013), en la eliminación de contaminantes emergentes como la atrazina, el diuron, isoproturón y diclofenaco, utilizando como proceso la combinación UV/H₂O₂ en aguas superficiales, obtuvieron degradaciones entre 30 y 90% para todos los compuestos.

II.6.2.3.5. Proceso de oxidación por Ultravioleta/Ozono

El proceso de ozono (O₃) en medio acuosa absorbe radiaciones UV a partir de una longitud de onda de 200 nm, llegando hasta 360 nm. Se ha comprobado que la fotólisis de las moléculas de O₃ producen directamente H₂O₂. Por otra parte, el H₂O₂ puede experimentar una reacción de fotólisis para formar dos radicales •OH, como se muestra. En la siguiente ecuación (Juárez, 2020):

En una segunda ruta, el radical •OH podría disociarse en H por la acción del O₃ para participar en otras reacciones, se ha enunciado que la mayor velocidad de destrucción orgánica se debe a la descomposición de ozono catalizada por H₂O₂, según las reacciones anteriores (Oturán & Aaron, 2014).

La utilización de ozono para los tratamientos de aguas residuales muestra un alto costo de inversión y equipos para la destruir el ozono restante, problemas de salud y seguridad, así también como el riesgo del escape a la atmósfera de las sustancias orgánicas volátiles, causado por el burbujeo del reactivo.

$O_3 + H_2O + hv \longrightarrow 2OH\cdot + O_2$	4.1
$O_3 + OH\cdot \longrightarrow 2HO_2\cdot + O_2$	4.2
$O_3 + HO_2\cdot \longrightarrow OH\cdot + 2O_2$	4.3
$OH\cdot + HO_2\cdot \longrightarrow H_2O + O_2$	4.4
$2OH\cdot \longrightarrow H_2O_2$	4.5

Ecuación 4. Proceso de UV/O₃

La degradación de los pesticidas bromacil, bentazona, atrazina e isoproturón se estudió mediante los procesos O₃/H₂O₂ y O₃/H₂O₂/UV en una instalación piloto. Las concentraciones utilizadas fueron de 6 ppm de H₂O₂, 1,5 mg/L de O₃ y una dosis de irradiación UV variable entre los 700 y 950 mJ/cm², la degradación de los pesticidas siguió el orden siguiente: bromacil > bentazona > isoproturon > atrazina (Lekkerkerker et al., 2012).

La ozonación catalítica de la atrazina y el metolachlor se estudiaron a escala piloto utilizando como catalizador nano fibras de carbono. En todos los casos la presencia del catalizador mejoró la eliminación de los pesticidas en comparación con la ozonación simple (Derrouiche et al., 2013).

II.7. Legislación medioambiental

En los últimos tiempos la necesidad por mejorar los tratamientos de agua ha ido aumentando, al igual que el desarrollo de nuevas tecnologías, y evidentemente las consecuencias negativas sobre el medio ambiente, por lo tanto, surge la necesidad en los diferentes Estados de elaborar normativas que regulen y protejan los recursos naturales (Martín, 2019).

Tabla III. Regulaciones internacionales sobre el medio ambiente

PAÍS / CONTINENTE	REGLAMENTACIÓN	OBJETIVO	PRIORITARIO /SALUD
Estados Unidos	Ley de agua potable segura	La Ley autoriza a la EPA a establecer estándares mínimos para proteger el agua del grifo y requiere que todos los propietarios u operadores de sistemas públicos de agua cumplan con estos estándares primarios	Salud humana
	Ley de Agua Limpia	Establece la estructura básica para regular las descargas contaminantes en las aguas y regular los estándares de calidad para las aguas superficiales	Vida acuática
	Ley de Conservación y Recuperación de Recursos	La ley describe el programa de manejo de desechos Sólidos peligrosos y no peligrosos	Salud medioambiental
Unión Europea	Directiva Marco del Agua Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000	El agua es un patrimonio que hay que proteger, evitando el deterioro a largo plazo de los aspectos cualitativos y cuantitativos del agua dulce	Salud medioambiental
	Directiva de agua potable Directiva 2009/128/ce del parlamento europeo y del consejo de 21 de octubre de 2009	establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas	Salud humana
	Agencia Europea de Medicamentos (EMA)	La EMA garantiza la evaluación científica, la supervisión y el seguimiento de la seguridad de los medicamentos de uso humano y veterinario en la UE.	Salud medioambiental
Australia	Normas Australianas para el Agua Potable	Ofrecer un marco para mejorar la gestión del abastecimiento de agua potable que, si se implementan, garantizarán la seguridad del agua en el punto de consumo	Salud humana
Ecuador	Tulsma "Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recursos Agua"	Establece límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado	Salud medioambiental

Elaborado por: Autores

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

III.1. Revisión y análisis de información bibliográfica.

En el presente trabajo se realizó un estudio descriptivo, comparativo y explicativo de referencias bibliográficas concernientes a los diferentes procesos para el tratamiento de aguas residuales urbanas ayudando a la reducción de contaminantes orgánicos emergentes.

Este estudio se basa en una investigación bibliográfica, es decir en la recolección y análisis de datos, que permitan adquirir información fiable disponible en base de datos internacionales y nacionales.

III.2. Fuentes de información

III.2.1. Metodología aplicada

Para el desarrollo del presente estudio, se realizó una investigación de revisión bibliográfica de tipo cualitativo-cuantitativa y descriptiva-analítica, mediante la recopilación de datos bibliográficos de diversas revistas pertinentes a investigaciones sobre los contaminantes emergentes y los tratamientos avanzados para determinar los tratamientos más eficaces en la eliminación.

III.2.2. Base de datos científicas

En la presente investigación se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de información relevante, de calidad y actualizada en las bases de datos: como Scielo, PubMed, ScienceDirect, Springer-Link, Wiley, Redalyc, Latindex, Dialnet, Base, entre otros índices disponibles, encontrándose artículos científicos, libros, revistas para la identificación de los documentos o información referente al tema de investigación.

III.2.3. Base de datos sobre normativas nacionales e internacionales

Por lo tanto se recaudó información sobre informes y datos estadísticos emitidos por el Ministerio de Salud, Ministerio del Ambiente, INEC, INEN, también con bases de datos internacionales como documentos proporcionados por la OMS, OPS, Unión Europea entre otras fuentes de información confiable, rigiéndose en normativas, reglamentos, resoluciones, decretos donde nos da a conocer los parámetros y las concentraciones permitidas de dichos

contaminantes con el fin de reducir la contaminación del agua, mejorando la calidad de la misma, y así poder evitar los efectos negativos o impactos para la salud y el medio ambiente.

Cabe recalcar que todas las bases de datos se utilizaron para sustentar los estudios realizados en diferentes revistas de conocimiento científico, donde el análisis de la literatura se consideró en un intervalo desde el año 2010 hasta el 2020.

III.3. Selección de criterio para el análisis de información

De acuerdo con los objetivos planteados se estableció una búsqueda de información donde se utilizaron varias fuentes de datos, artículos de revisión sobre los contaminantes orgánicos emergentes, tipos de tratamientos, tipos de agua. Evaluando el grado de confianza que merece cada fuente.

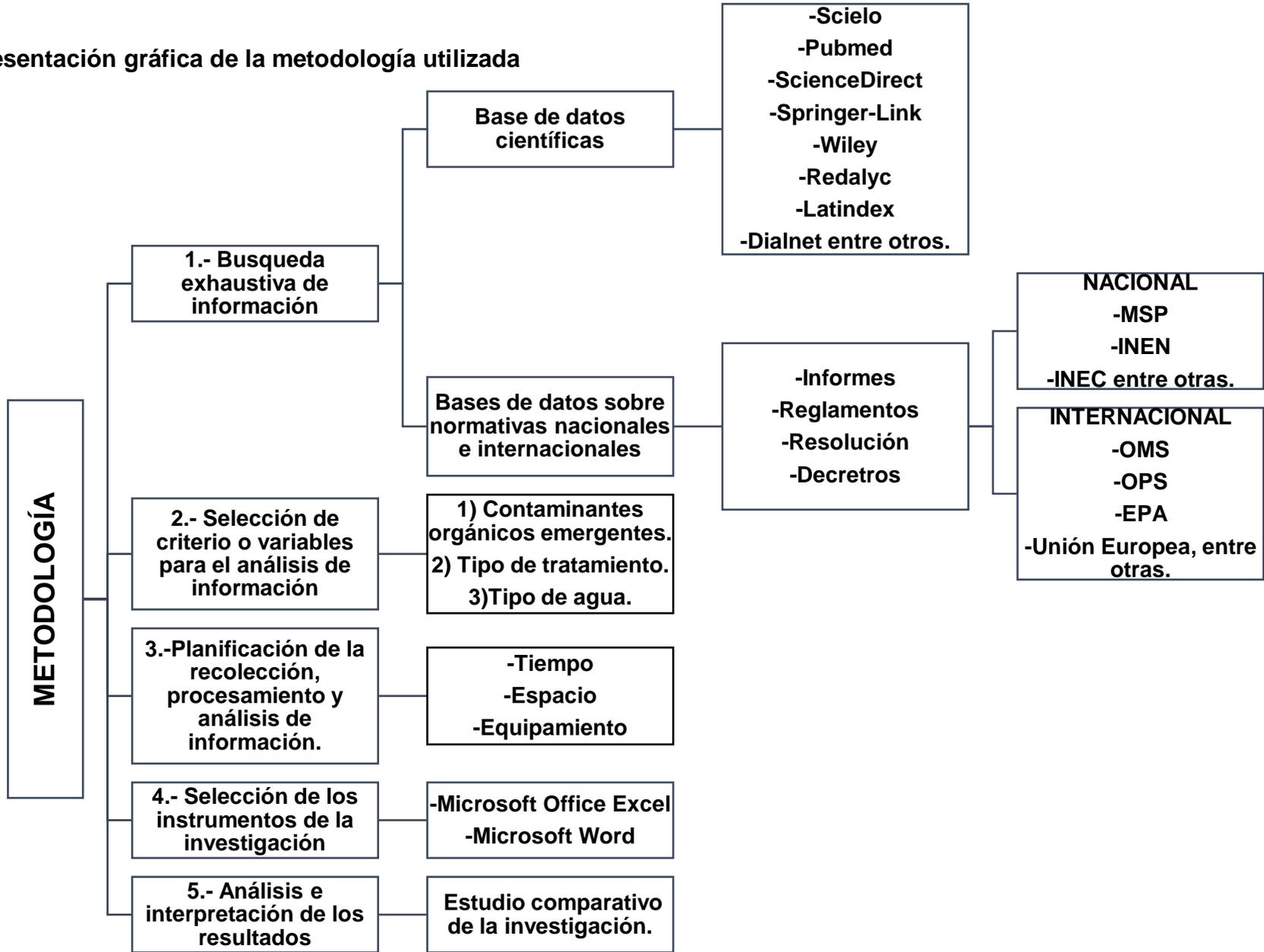
III.4. Instrumentos de la investigación

Los programas que se utilizaron en la presente investigación para procesamiento y análisis de los datos, tabulaciones, cuadros estadísticos entre otras herramientas que se requieran en el desarrollo del estudio son: Microsoft Office Excel y Microsoft Office Word.

III.5. Análisis e interpretación de los resultados

En este apartado se realizaron los estudios comparativos sobre las distintas variables estudiadas, con la ayuda de datos estadísticos, y realizando cuadros comparativos.

III.6. Representación gráfica de la metodología utilizada



Esquema 4. Representación gráfica de la metodología utilizada.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contaminantes emergentes son compuestos que tienen distintos orígenes, uno de los problemas es su bioacumulación y persistencia, cuya presencia en el medio ambiente pueden ocasionar daños. Generalmente estos contaminantes pueden derivarse de productos como fármacos, plaguicidas, artículos de limpieza, edulcorantes y productos de aseo personal, entre otros.

Actualmente estos compuestos han sido detectados en agua potable y aguas residuales, este hecho se demuestra en distintos estudios realizados donde revelan que las plantas de tratamientos de aguas residuales no los eliminan por completo. Por lo que resulta necesario el desarrollo de nuevas técnicas o procesos de tratamientos avanzados que permitan la degradación de dichos contaminantes.

De acuerdo con los objetivos planteados para este estudio se estableció una búsqueda de información, que va en función del análisis de los tratamientos reconocidos para la eliminación de los CEs. Cabe mencionar que en las literaturas revisadas no todos los compuestos son eliminados por un mismo tratamiento, esto va a depender del objetivo de estudio de cada autor.

IV.1. Contaminantes emergentes y sus actividades antropogénicas.

De acuerdo con el objetivo 1, se ha identificado los potenciales compuestos orgánicos contaminantes en aguas urbanas por influencia de la actividad socioeconómica, considerando que el ecosistema se ve afectado por las diversas actividades que realiza el ser humano. La presencia de los CEs en aguas residuales proviene de la actividad agrícola, farmacéutica e industrial, entre otras.

Tabla IV. Relación de las actividades antropogénicas con los contaminantes emergentes.

ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS	CONTAMINANTES EMERGENTES
Agrícolas	Pesticidas (pentaclorofenol, dicamba, linuron, clopiralida, bentazon, xileno, oxifluoreno, metacloro, mecoprop, isoproturón, indol, diurón, dimetoato, demetilbenceno, clopiradila, atrazina, acetamiprid).
Farmacéuticas	Fármacos (amoxicilina, antipirina, atenolol, azitromicina, bezafibrato, carbamazepina, ciprofloxacino, claritromicina, diclofenaco, gemfibrozil, ibuprofeno, ketoprofeno, losartán, metoprolol, metronidazol, naproxeno, paracetamol, moxifloxacina, ranitidina, antipirina, oxazepan, fluconazol, sulfametoxazol, sulfapiridina, tramadol, trimetropina, ritonavir, clindamicina) Disruptores endocrinos (estriol, estradiol, estrona, 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, bisfenol A, nonifenoles polietoxilados).
Industriales	Edulcorantes artificiales (acesulfamo de potasio, aspartamo, sacarina, sucralosa). Agentes industriales (glutamato monosódico, metil-p-hidroxibenzoato, triclosán, triclocarban, hidroxibifenilo).

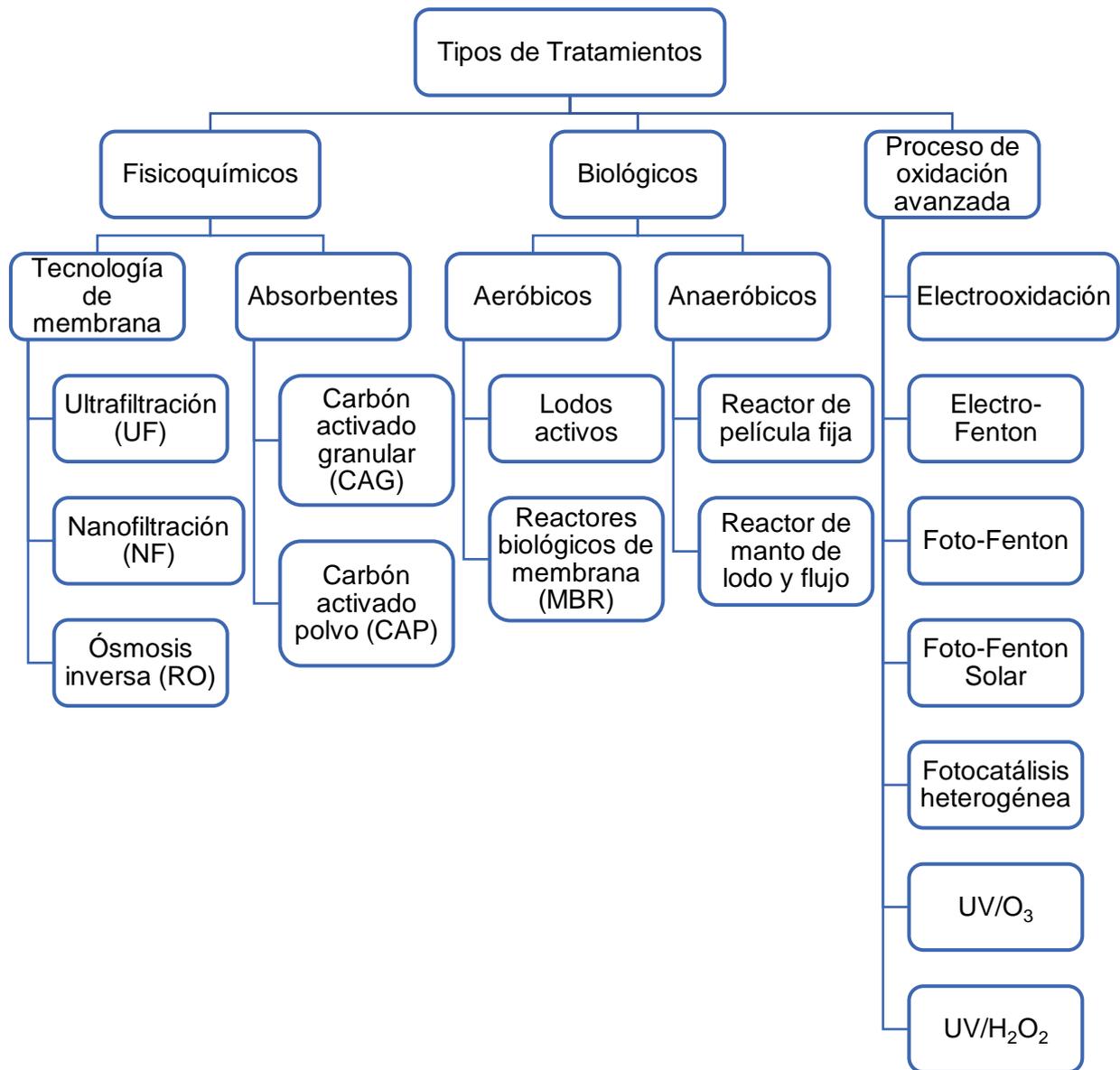
Elaborado por: Autores

De acuerdo con la **Tabla IV**, existen diferentes actividades antropogénicas que causan la contaminación en el medio ambiente. Varios estudios mencionan que, de todos los contaminantes emergentes, los de mayor preocupación provienen de las actividades hospitalarias, por lo que su estudio se encuentra en las líneas de investigación prioritarias de los principales organismos dedicados a la protección de la salud y el medio ambiente.

IV.2. Clasificación de los tratamientos para la eliminación de contaminantes emergentes.

La ineficiencia en el tratamiento convencional de las aguas residuales que se vierten en arroyos naturales provoca la bioacumulación de CEs perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

Dentro de la clasificación se exponen los tratamientos fisicoquímicos, biológicos y procesos de oxidación avanzada. En el **Esquema 5**, se presenta la clasificación de los procesos para el tratamiento de aguas residuales.



Esquema 5. Clasificación de los tratamientos para la eliminación de los CEs

Elaborado por: Autores

Con respecto al **objetivo 2**, es necesario evaluar la factibilidad de métodos físicos, químicos y/o biológicos para el tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta la eficacia de eliminación y los factores que intervienen en cada tratamiento.

IV.2.1. Tratamientos fisicoquímicos

IV.2.1.1. Proceso de ultrafiltración

En la **Tabla V**, se detallan los CE's que son eliminados por el proceso de UF, este tratamiento se basa en la filtración a través de membranas porosas, que poseen un tamaño aproximado de poro de 0.02 a 0.1 μm .

A partir de los datos obtenidos se puede evidenciar que el proceso de UF en la mayoría de los compuestos ha permitido una eliminación menor al 50%, a excepción de los casos de la amitriptilina (64%), ibuprofeno (70%), triclosán (84.91%), hidroxibifenilo (85%), naproxeno (70%), diclofenaco (68%), gemfibrozil (95%), estrona (98%), 17β -estradiol (99%), 17α -etinilestradiol (98%). Esto va a depender de material de membrana a utilizar y de la polaridad del compuesto a analizar.

Tabla V. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de ultrafiltración (UF).

TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
UF	Agente Industrial	metil p-hidroxibenzoato	19%	Aguas residuales urbanas	Material de membrana: polietersulfona, tamaño de poro: 0.02 μm	Ferreiro et al., 2020
	Fármacos	bezafibrato	35%			
		carbamazepina	19%			
	Pesticida	diurón	24%			
	Fármacos	fenitoína	23%			
		amitriptilina	64%			
	Droga	cafeína	29%			
		ciprofloxacino	19%			
	Fármacos	propranolol	25%			
		mesilato de prosartán	15%			
		losartán	19%			
		perfluorosulfonamida	36%			
		telmisartán	30%			
		valsartán	22%			
		sulfametoxazol	28%			
norfloxacin		26%				
trimetoprima	30%					
Fármaco	ibuprofeno	70%	Agua residual	Material de membrana: polietersulfona, tamaño de poro: 0.04 μm , pH:7.5.	Jermann et al., 2009	
Agente industrial	triclosán	84.91%	Agua residual	Material de membrana de cerámica, tamaño de poro: 0.06 μm a pH: 7,	Westerhoff et al., 2005	

UF	Droga	cafeína	21%	Agua residual	Material de membrana poliamina aromática, tamaño de poro 0.1 µm, pH: 8.	Acero et al., 2010	
	Fármacos		metoprolol				49%
			paracetamol				20%
			antipirina				23%
			sulfametoxazol				40%
			flumequina				43%
			ketorolaco				49%
	Pesticidas		atrazina				39%
			isoproturón				42%
	Fármacos		hidroxibifenilo				85%
			diclofenaco	26%			
	Fármacos		ácido salicílico	40%	Aguas residuales	Material de membrana fluoruro de polivinilideno, tamaño de poro: 0.02 µm.	Melo-Guimarães et al., 2013
			naproxeno	70%			
			diclofenaco	68%			
			gemfibrozil	95%			
			ibuprofeno	60%			
			carbamazepina	15%			
			ketoprofeno	70%			
Disruptor endocrino			estrona (E1)	98%			
		17β-estradiol (E2)	99%				
		17α-etinilestradiol (EE2)	98%				

Elaborado por: Autores

IV.2.1.2. Proceso de nanofiltración

El proceso de nanofiltración se utiliza para la eliminación de CEs, esto va a depender del tipo y tamaño del poro de la membrana.

En la **Tabla VI**, se describe la comparación de diferentes estudios para la reducción de los CEs en aguas residuales, obteniéndose una eficacia en la eliminación de atrazina (95%), dimetoato (90%), carbamazepina (97%), naproxeno (95%), tramadol (98%), telmisartán (96%), ibuprofeno (90-99%) y el paracetamol (90%).

Cabe recalcar que la estructura molecular y la hidrofobicidad del compuesto interfiere en la eliminación por membranas; por ejemplo, la eficacia de eliminación de la atrazina es más alta que la del dimetoato, esto se debe a que la molécula de atrazina presenta una estructura aromática heterocíclica, de modo que tiene una mayor hidrofobicidad, como se puede observar su estructura en el **Anexo M**.

Tabla VI. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de nanofiltración (NF).

TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO									
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia			
NF	Fármacos	Diclofenaco	99%	Agua residual	Superficie de la membrana NF-90: 2,5 m ² , T°: 20°C.	Beier et al., 2010			
		Ibuprofeno	85%						
		Carbamazepina	80%						
		Moxifloxacina	97%						
		Tramadol	98%						
		Ciprofloxacina	97%						
		Telmisartán	96%						
	Droga	Bisoprolol	90%	Agua residual	Membranas Dow-Filmtec NF-200, material de poliamida.	Yangali et al., 2010			
		Cafeína	78%						
	Fármacos	Fenacetina	74%						
		Metronidazol	70%						
		Fenazona	83%						
		Sulfametoxazol	85%						
		Carbamazepina	97%						
		Ibuprofeno	93%						
	Pesticida	Naproxeno	97%						
		Atrazina	94%						
		Nonifenol	90%						
	Disruptor endocrino	Triclosán	91%						
		Bisfenol A	51%						
		Atrazina	95%						
	Pesticida	Dimetoato	90%				Agua residual	Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de poliamida, pH: 6.	Ahmad et al., 2008
		Isoproturón	80%				Agua residual	Membranas Dow-Filmtec NF-270, material de polisulfona.	Plakas et al., 2006
Disruptor endocrino	Estrona (E1)	82%	Agua residual				Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de polisulfona.	Nghiem et al., 2004	
	Estradiol	80%	Agua residual				Membranas Dow-Filmtec NF-270, material de polisulfona, pH: 6.		
Fármacos	Sulfametoxazol	95%	Agua residual				Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de polisulfona, pH: 8.	Nghiem et al., 2007.	
	Ibuprofeno	99%					Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de polisulfona, pH: 8.		
	Carbamazepina	90%					Membranas Dow-Filmtec NF-270, material de polisulfona, pH: 8.		
	Carbamazepina	97%					Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de polisulfona, pH: 8.		
	Carbamazepina	80%					Membranas Dow-Filmtec NF-270, material de polisulfona, pH: 8.		
	Paracetamol	90%		Membranas Dow-Filmtec NF-90, material de polisulfona, pH: 8.					

Elaborado por: Autores

IV.2.1.3. Proceso de ósmosis inversa (RO)

El tratamiento de las aguas residuales por RO se basa en la desmineralización de los compuestos a través de las membranas para separar sólidos disueltos, que resultan ser los principales responsables de la bioacumulación de los CE.

En la **Tabla VII**, se presentan la eficacia de eliminación de los CE, por el tratamiento de RO, indicando un alto porcentaje de eliminación de distintos compuestos como el diclofenaco (99%), telmisartán (99%), bezafibrato (99%), ibuprofeno (99%), entre otros.

Sus membranas presentan un tamaño de poro aproximado de 0.01 nm. El mecanismo de eliminación de RO va a depender del tamaño de la molécula y las características de las membranas.

Tabla VII. Eficiencia de eliminación de los CE utilizando el proceso de ósmosis inversa (RO).

TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO						
Tipo de tratamiento	Categoría CEs	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Ósmosis inversa	Fármacos	Diclofenaco	99%	Agua residual Hospitalaria	Material de membrana poliamida, pH:6-10.	Beier et al., 2010.
		Ibuprofeno	90%			
		Carbamazepina	95%			
		Moxifloxacino	97%			
		Telmisartan	99%			
		Tramadol	98%			
		Ciprofloxacina	98%			
		Bisoprolol	98%			
	Fármacos	Bezafibrato	99%	Agua residual	Membrana Filmtec TW30-2540, material de polivinilo, pH:6.	Sahar, et al., 2011
		Ibuprofeno	99%			
		Sulfamida	93%			
		Diclofenaco	95%			
		Ketoprofeno	95%			
		Naproxeno	90%			
	Disruptor endocrino	Bisfenol A	Fenoprofeno	95%		
Gemfibrozil			95%			

Elaborado por: Autores

IV.2.1.4. Proceso de carbón activado en polvo

El carbón activado es el material más utilizado debido a su alta porosidad y área de superficie específica, se caracteriza por ser altamente adsorbente y eficaz para eliminar una alta gama de contaminantes. El carbón activado puede ser granulado o en polvo.

La eficacia de eliminación de los CE's va a depender del tamaño de las moléculas, del tamaño del poro, el área superficial, la concentración de las partículas, el tiempo de contacto, y la temperatura, entre otros.

Tabla VIII. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de carbón activado en polvo CAP.

TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Carbón Activado Polvo	Fármacos	Atenolol	95%	Agua residual municipal	Dosis de PAC 32mg/L t: 60 min, T°: 19°C.	Kårelid et al, 2017
		Bisoprolol	95%			
		Bupropión	90%			
		Carbamazepina	90%			
		Citalopram	90%			
		Claritromicina	90%			
		Clindamicina	90%			
		Venlafaxina	90%			
		Diclofenaco	90%			
		Diltiazem	90%			
		Fexofenadina	90%			
		Flecainida	95%			
		Fluconazol	80%			
		Irbesartan	90%			
		Memantina	80%			
		Metoprolol	95%			
		Mirtazapina	90%			
		Oxazepam	95%			
		Sotalol	95%			
Tramadol	90%					
Trimetropina	90%					
Venlafaxina	90%					
Carbón Activado Polvo	Droga	Codeína	95%	Agua residual hospitalaria	Dosis de PAC: 40mg/L DQO: 3,7mg. pH: 8,1-8,5. T°: 27-28°C.	Kovalova, et al., 2013
	Fármacos	Atenolol	88%			
		Benzafibrate	86%			
		Ciprofloxacina	99%			
		Claritromicina	100%			
		Clindamicina	100%			
		Clorofosfamida	73%			
		Eritromicina	88%			
		Furosemida	97%			
		Ofosfamida	60%			
		Indometacina	91%			
		Osetamivir	63%			
		Ácido mefenámico	99%			
		Metoprolol	99%			
		Morfina	63%			
		Norfloxacina	99%			
		Propranolol	94%			
		Ranitidina	96%			
		Ritonavir	87%			
Sulfapiridina	95%					

		Tiopental	66%			
		Trimetoprima	83%			
		Verapamilo	85%			
		Atrazina	40%			
Pesticidas		Diurón	75%	Agua residual	Dosis de PAC: 10 mg/L, T°: 25°C, DQO: 5.6 ± 0.9 mg/L	Mailler, et al., 2016

Elaborado por: Autores

IV.2.1.5. Proceso de carbón activado granular

Tabla IX. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de carbón activado granulado (CAG).

TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación n %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Carbón activado granulado	Fármacos	Atenolol	95%	Agua residual	Tasas de carbón utilizado: 230 mg/L.	Kârelid et al., 2017
		Bisoprolol	95%			
		Bupropión	85%			
		Carbamazepina	90%			
		Citalopram	90%			
		Claritromicina	90%			
		Clindamicina	90%			
		Oxazepam	90%			
		Diclofenaco	90%			
		Diltiazem	85%			
		Fexofenadina	90%			
		Flecainida	95%			
		Fluconazol	90%			
		Irbesartan	90%			
		Memantina	75%			
	Metoprolol	95%				
	Mirtazapina	85%				
	Droga	Codeína	95%			
		Sotalol	95%			
		Tramadol	90%			
		Trimetoprima	90%			
		Venlafaxina	85%			
Fármacos	Diclofenaco	98%	Agua residual	Tasas de carbón utilizado: 100 mg/L. Oxígeno Disuelto: 7,2 mg/L. pH: 7,8 T°: 27°C.	Grover et al., 2011	
	Carbamazepina	23%				
	Propanolol	17%				
Aditivo Industrial	Triclosán	98%	Agua residual	Dosis de CAG 100 mg/L, T°: 25°C	Jeirani et al., 2016	
Pesticidas	Bentazon	100%	Agua residual	Dosis de CAG 110 mg/L, T°: 20°C, pH: 7.	Smedt et al., 2015	
	Clopiralida	100%				
	Isoproturón	100%				

Elaborado por: Autores

En las **Tablas VIII y IX**, se observan pequeñas diferencias de eficacia de adsorción entre los dos procesos de absorción, por ejemplo, el oxazepan (90%) CAG, (95%) CAP, triclosán (98%) CAG, propranolol (17%) CAG, (94%) CAP, memantina (75%) CAG, (80%) CAP, habiendo obtenido un mejor desempeño por el proceso de carbón activado en polvo (CAP).

En el **Tabla IX**, se muestran dos porcentajes distintos de eficacia en la eliminación de la carbamazepina, esto se debe a que se utilizaron distintas dosis de CAG, siendo la primera de 230 mg/L con una eliminación de 90% y en la segunda con una dosis de 100mg/L con una eficiencia de remoción del 23%.

IV.2.2. Tratamientos biológicos

IV.2.2.1. Tratamientos biológicos anaeróbicos

En la **Tabla X**, se muestra una eficiencia de eliminación de los CEs por diferentes procesos biológicos anaeróbicos. Estos procesos son complejos por lo que intervienen bacterias tanto anaerobias estrictas como facultativas.

Estas bacterias en ausencia de oxígeno atraviesan una serie de etapas como hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, degradando los CEs produciendo metano y dióxido de carbono.

Con el proceso UASB, se logró una remoción del 97% en el glutamato monosódico presente en las aguas residuales, a una temperatura de 35°C en un tiempo estimado de 4 a 6 horas.

Con respecto al proceso de reactor por película anaeróbica se obtuvo una eficacia de eliminación del 97-99%, evidenciando que este proceso resulta ser el de mayor eliminación, en la utilización de bacterias anaeróbicas.

Tabla X. Eficiencia de eliminación de los CE utilizando los tratamientos biológicos Anaeróbicos.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS ANAERÓBICOS						
Tipo de tratamiento	Categoría CEs	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Reactor de película anaeróbico	Pesticidas	Xileno	99%	Agua residual	Bajo condiciones mesófilas 30 - 40 °C o termófilas 55-65°C, pH= 5,96.	García et al., 2017
		Dimetilbenceno	99%			
		2-etil-1-hexanol	97%			
		1,2,3,4-tetrametilbenceno	99%			
		Indol	99%			
		Oxirano [(2-etilhexil) oximetil]	99%			
		Isoproturón	97%			
		Linuron	99%			
		metolacloro	98%			
		Oxifluoreno	99%			
	Etofumesato	99%				
	Pesticidas	5-(2-propenil)-1,2-benzodioxol	99%			
Fenamiphos		99%				
Lodo Activado	Disruptores endocrinos	Estrona	79%	Agua residual	T°:35-55°C, t: 90 días, conc. de lodos tratados de 0.2 mg.	Paterakis, 2012
		Estriol	45%			
		Estrona-3-sulfato	36%			
		17a-etinilestradiol	34%			
		Mono y dietoxilado	88%			
Nonilfenoles polietoxilados	66%					
Reactor de manto de lodo y flujo (AUSB)	Aditivo Industrial	Glutamato monosódico	97%	Agua residual	T°:35°C, t de retención: 4-6 h, tasa de carga orgánica 8 g DQO/L.	Mainardis et al., 2020

Elaborado por: Autores

IV.2.2.2. Tratamientos biológicos aeróbicos

Lodos activados aeróbicos

De acuerdo con el análisis bibliográfico, se demostró la eficacia en el proceso de lodos activados aeróbicos para la eliminación de fármacos, disruptores endocrinos, y agentes industriales. Este proceso permite el desarrollo de una depuración natural en el que los microorganismos son capaces de eliminar los CE presentes en las aguas residuales.

En la **Tabla XI**, se muestran los porcentajes de eliminación del triclosán, que fueron investigados por diferentes autores, indicando una similitud de eficacia

entre el 97% al 100%. Razón por la cual el proceso de lodos activados aeróbicos es una técnica favorable para eliminación de los CE's con estructuras similares.

Tabla XI. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de lodos activados aeróbicos

TRATAMIENTO BIOLÓGICO AERÓBICO						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Lodo activado aerobio	Fármacos	5-Metilbenzotriazol	81%	Agua residual	Retención hidráulica: 7h, t: 27 días, T°: 25°C, agitación continua: 300 rpm.	Rodríguez et al., 2017
		5-Clorobenzotriazol	62%			
		Naproxeno	98%			
	Fármacos	Ibuprofeno	90%	Agua residual	Retención hidráulica: 24h, t: 20 días	Hasan,A et al., 2016
		Ketoprofeno	92%			
	Fármacos	Bezafibrato	90%	Agua residual	T°: 25°C, t: 20 días.	Tiehm et al., 2011
		Naproxeno	90%			
		Ibuprofeno	90%			
		Diclofenaco	90%			
	Fármacos	Ácido salicílico	97%	Agua residual	Retención hidráulica: 5h, t: 21 días, oxígeno disuelto: 2-3.5 mg/,T°: 16 a 25°C, agitación continua: 300 rpm.	Guimaraes et al., 2013
		Naproxeno	75%			
		Diclofenaco	75%			
		Gemfibrozil	70%			
		Ibuprofeno	83%			
		Carbamazepina	90%			
	Disruptor endocrino	4-Nonifenol	53%	Agua residual		
Agente Industrial		Butilbencilftalato	72%			
Disruptor endocrino	Bisfenol-A	84%				
Agente Industrial	Triclosán	97%	Agua residual	T°: 28°C, oxígeno disuelto: 1.5-2 mg/L.	Thompson et al., 2005	
Agente Industrial	Triclosán	100%	Agua residual	Oxígeno disuelto = 5 mg / L, t: 20 días.	Maarroof &, 2013	

Elaborado por: Autores

Proceso reactor biológico de membrana

El proceso de tratamiento por MBR, consiste en la filtración de membranas con la degradación biológica, consiguiendo tanto la retención física de los contaminantes como su biodegradación.

En la **Tabla XII**, se describen los resultados sobre la eficacia de eliminación de los CEs. Cabe indicar que la capacidad de absorción de estos contaminantes va a depender de las propiedades fisicoquímicas. Por ejemplo, los compuestos hidrofóbicos como el bisfenol A (99%), tienen tendencia a ser absorbidos en los fangos; a diferencia de los contaminantes moderadamente solubles en agua y con limitada biodegradabilidad son parcialmente removidos, como por ejemplo el sulfametoxazol (59%). Sin embargo, aquellos compuestos hidrofílicos y rápidamente metabolizables como el metronidazol (96%) serán fácilmente degradados.

Tabla XII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de reactor biológico de membrana (MBR)

TRATAMIENTO BIOLÓGICO						
Tipo de tratamiento	Categoría CEs	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Reactor de membrana (MBR)	Fármacos	Acetaminofén	100%	Agua residual	Membrana: UF de fibra hueca de polietersulfona. Tamaño de poro: 0.04µm. Oxígeno disuelto: 2.8-3.2 mg/L. t:48 semanas	Tambosi et al., 2010
		Ketoprofeno	99%			
		Naproxeno	87%			
		Roxitromicina	69%			
		Sulfametoxazol	59%			
Trimetoprima	90%					
Reactor de membrana (MBR)	Disruptor endocrino	Estrona (E1)	96%	Agua residual municipal	Membrana: UF de fibra hueca de polifloruro de vinilo. Tamaño de poro: 0.04 µm. Retención hidráulica: 7 h.	Estrada et al., 2013
		17b-estradiol (E2)	96%			
		17a-etinilestradiol (EE2)	95%			
Reactor de membrana (MBR)	Agente Industrial	Triclosán	99%	Agua residual	Membrana: UF de fibra hueca. Tamaño de poro: 0.04 µm. T°: 21 °C. Retención hidráulica: 11 h.	Kim et al., 2014
		17a-etinilestradio (EE2)	92%			
Reactor de membrana (MBR)	Disruptor endocrino	17b-estradiol (E2)	99%	Agua residual	Membrana: UF de fibra hueca. Tamaño de	Nguyen et al., 2014

	Pesticidas	Estrona (E1)	96%	Agua residual	poro: 0.04 μm . T°: 28°C	Ghoshd et al., 2013	
		Bisfenol A	99%				
		Mecoprop	75%				
	Fármacos	Dicamba	69%		Membrana: polipropileno . DQO: 745mg/L		
		Atenolol	97%				
		Metoprolol	71%				
		Nadolol	67%				
		Propranolol	70%				
	Fármacos	Sotalol	70%		Membrana de hoja plana de polietileno clorado. Tamaño de poro: 0.04 μm . T°:20°C. Retención hidráulica:12 h.		Dólar et al., 2012
		Lorazepam	100%				
Metronidazol		96%					
Hidroclorotiazida		99%					
Fármacos	Furosemida	78%	Membrana: MF Zenon. Tamaño de poro: 0.10 μm	Llorens et al., 2015			

Elaborado por: Autores

IV.2.3. Tratamientos de oxidación avanzada

IV.2.3.1. Proceso de electrooxidación

Con respecto a la **Tabla XIII**, se muestra la eliminación de los CE's mediante el proceso de electrooxidación. Por ejemplo, la eficiencia de eliminación del edulcorante ACE-K se redujo al 100%, teniendo una concentración inicial de 100mg/L, la degradación estuvo ligeramente influenciada por la temperatura a 25-50 °C, en un tiempo de 30 minutos.

Según los estudios realizados por Barros et al., (2015), mediante el proceso de electrooxidación utilizando electrodos de diamante dopados con boro, se evidenció una eficacia de eliminación del 73 al 89% de los CE's presentes en lodos de aguas residuales, tales como bisfenol A (73%), nonifenol (89%) y triclosán (82%). Debe señalarse que el compuesto de mayor porcentaje de remoción lo obtuvo el nonilfenol, debido a que sus isómeros tienen estructuras relativamente más simples que 4,4 0-(propano2,2-diil) difenol (bisfenol A) y 5-cloro-2- (2,4-diclorofenoxi) fenol (Triclosán). Cabe mencionar que también se ha verificado un elevado porcentaje de eliminación de medicamentos en un rango del 70 al 95%. Evidentemente, el proceso de tratamiento de electrooxidación resulta ser una técnica prometedora y eficaz para la reducción de los CE's presentes en aguas residuales.

Tabla XIII. Eficiencia de eliminación de los CE utilizando el proceso de electrooxidación.

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría Ces	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Electrooxidación	Edulcorante	Acesulfamo de potasio (ACE-K)	100%	Agua residual	[ACE-K]: 100 mg/L, electrodo de diamante dopado con Boro, T°: 25°C, t: 30 minutos.	Puturat & Huang, 2016
Electrooxidación	Disruptor endócrino	Bisfenol A	73%	Agua residual	Electrodo de diamante dopado con boro, pH: 3, densidad de corriente aplicada: 40 mA cm ² , tiempo de 1h.	Barros et al., 2015
		Nonilfenol (NP)	89%			
Electrooxidación	Aditivo Industrial	Triclosán	82%	Agua residual	Electrodo de aluminio cilíndrico, Conc.de cada compuesto: 0.01 mg/L, T°: 25°C	Ensano et al., 2019
		Diclofenaco	75%			
		Carbamazepina	74%			
Electrooxidación	Fármacos	Amoxicilina	73%	Agua residual		
Electrooxidación	Fármacos	Amoxicilina	95%	Agua residual	Electrodo peróxido de mercurio, t: 75 min, pH: 3,5.	Padilla et al., 2015

Elaborado por: Autores

IV.2.3.2. Proceso de electro-fenton

Los procesos de oxidación avanzada por el método electro-fenton consiste en la oxidación electroquímica de los compuestos, de manera que se añade una mezcla de Fe(II) y H₂O₂, para la formación de los radicales hidroxilos y el poder oxidante. Se pueden utilizar diferentes electrodos siendo los de grafito, hierro y acero los más económicos.

Este tipo de tratamiento es muy eficaz eliminando los fármacos en un 95% como el atenolol, metoprolol y propranolol. Sin embargo, se obtuvo una eficacia de eliminación del 100% en los agentes industriales, como es el triclosán y triclocarban, ambos utilizaron un ánodo de platino y un cátodo fieltro de carbono a una temperatura del 35°C, como se lo indica en la **Tabla XIV**.

Tabla XIV. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de oxidación avanzada electro-fenton

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Electro-Fenton	Edulcorantes Artificiales	Aspartamo (ASP)	100%	Agua residual	[ASP]: 0.21 mg/L, [Fe ²⁺]: 0.2 mM, pH: 3, ánodo: DDB, cátodo: fieltro de carbono. t:15 minutos.	Juárez, 2020
		Sucralosa (SUC)	96,10%		[SUC]: 0.2 mM, [Fe ²⁺]: 0.2 mM, pH: 3, ánodo: DDB, cátodo: fieltro de carbono. t:120 minutos, T°: 22°C.	Lin et al., 2017
		Sacarina (SAC)	96,20%		[SAC]: 0.2 mM, [Fe ²⁺]: 0.2 mM, pH:3, ánodo: DDB, cátodo: fieltro de carbono. t: 120 minutos.	Zhou et al., 2020
		Sacarina (SAC)	99%		[SAC]: 0.2 mM, [Fe ²⁺]: 0.2 mM, pH:3, ánodo: DDB de película fina, cátodo: fieltro de carbono. t: 25 minutos.	Lin et al., 2015
Electro-Fenton	Fármacos	Atenolol	95%	Agua residual hospitalaria	[Fe ²⁺] = 0.1 mM, pH:3, ánodo: platino, cátodo: fieltro de carbono, T°: 35°C.	Ganzenko et al., 2014
		Metoprolol	95%			
		Propranolol	95%			
	Agente industrial	Triclocarban	100%			
		Triclosán	100%			

Elaborado por: Autores

IV.2.3.3. Proceso de foto-fenton

El proceso de foto-fenton posee un elevado potencial de oxidación mediante la combinación de un agente oxidante (H₂O₂) con un catalizador (Fe²⁺), este proceso implica el uso de luz ultravioleta, para producir radicales por reacciones de H₂O₂ con la presencia de hierro. En la **Tabla XV**, se compara las diferentes fuentes bibliográficas, donde se realizaron estudios sobre la eliminación de CE's por el proceso de foto-fenton. Según los estudios de Cruz N., (2013), los fármacos mostraron una eficiencia de eliminación entre un 86 al 100%, demostrando que el diclofenaco se eliminó al 100%, con un pH de 6-8, en una

concentración de Fe²⁺ de 5 mM y 10 mM de H₂O₂ durante 40 minutos. Cabe destacar que el proceso de foto-fenton demuestra ser un método eficaz y prometedor en la degradación de diferentes CEs.

Tabla XV. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de foto-fenton

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CEs	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Foto-Fenton	Fármacos	Bezafibrato	99%	Agua residual	[Fe ²⁺]:5 mM, [H ₂ O ₂]:10 mM, radiación UV: 254 nm pH:3, t:40 minutos a T° de 22° C.	Cruz N., 2013
		Gemfibrozilo	98%			
		Metformina	95%			
		Carbamazepina	94%			
		Diclofenaco	100%			
		Ibuprofeno	98%			
		Ketoprofeno	99%			
		Paracetamol	86%			
		Naproxeno	100%			
		Primidona	87%			
		Atenolol	97%			
		Metoprolol	94%			
		Ciprofloxacino	98%			
		Claritromicina	91%			
		Metronidazol	91%			
Sulfametaxazol	99%					
Trimetoprima	94%					
Foto-Fenton	Disruptor endocrino	Bifenol A	98%	Agua residual	[TCS]:10mg/L, [Fe ²⁺]: 2 mM, [H ₂ O ₂]: 50 mM, radiación UV: 300 nm, pH:6, t:60 minutos,	Jagini et al.,2019
	Pesticidas	Atrazina	96%			
		Mecoprop	88%			
Foto-Fenton	Edulcorante artificial	Acesulfamo de potasio (ACE-K)	100%	Agua residual	[ACE-K]:1 mM, [Fe ²⁺]: 1 mM, [H ₂ O ₂]:10 mM, radiación UV: 254 nm, pH:3, t:25 minutos,	Kattel et al., 2017
Foto-Fenton	Pesticida	Acetamiprid	90%	Agua residual	[Acetamiprid]: 0.1 mg/L, t=20 min, UV: 254 nm, pH= 7, [Fe ²⁺]: 2 mM, [H ₂ O ₂]: 20 mM	Carra, et al., 2015

Elaborado por: Autores

IV.2.3.4. Proceso foto-fenton solar

Tabla XVI. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de foto-fenton solar

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Foto-Fenton	Fármacos	Bezafibrato	99%	Agua residual	[Fe ²⁺]:5 mM, [H ₂ O ₂]:10 mM, radiación UV: 254 nm pH:3, t:40 minutos a T° de 22° C.	Cruz N., 2013
		Gemfibrozilo	98%			
		Metformina	95%			
		Carbamazepina	94%			
		Diclofenaco	100%			
		Ibuprofeno	98%			
		Ketoprofeno	99%			
		Paracetamol	86%			
		Naproxeno	100%			
		Primidona	87%			
		Atenolol	97%			
		Metoprolol	94%			
		Ciprofloxacino	98%			
		Claritromicina	91%			
		Metronidazol	91%			
Sulfametaxazol	99%					
Trimetoprima	94%					
Foto-Fenton	Disruptor endocrino	Bifenol A	98%	Agua residual	[TCS]:10mg/L, [Fe ²⁺]: 2 mM, [H ₂ O ₂]: 50 mM, radiación UV: 300 nm, pH:6, t:60 minutos,	Jagini et al.,2019
	Pesticidas	Atrazina	96%			
			Mecoprop	88%		
Foto-Fenton	Agente Industrial	Triclosán	100%	Agua residual	[ACE-K]:1 mM, [Fe ²⁺]: 1 mM, [H ₂ O ₂]:10 mM, radiación UV: 254 nm, pH:3, t:25 minutos,	Kattel et al., 2017
Foto-Fenton	Edulcorant e artificial	Acesulfamo de potasio (ACE-K)	100%	Agua residual	[Acetamiprid]: 0.1 mg/L, t= 20 min, radiación UV: 254 nm, pH= 7, [Fe ²⁺]: 2 mM, [H ₂ O ₂]: 20 mM	Carra, et al., 2015

Elaborado por: Autores

En la **Tabla XVI**, se da a conocer la eficacia de eliminación de los CEs presentes en las aguas residuales, por el proceso de tratamiento de foto-fenton solar, este tratamiento involucra la generación de especies altamente oxidantes a partir de la reacción de las sales de hierro y el peróxido de hidrógeno en conjunto con radiación solar.

Este tratamiento cuenta con la capacidad de degradar los contaminantes orgánicos a bajas temperaturas. Los estudios realizados por este tratamiento indican que los contaminantes alcanzaron una degradación por encima del 95%, tal es el caso del ciprofloxacino (97%), a una concentración de 5 mg/L de Fe^{2+} y 50 mg/L de H_2O_2 en un tiempo de 144 minutos, destacando que es una técnica eficaz y prometedora con la eliminación de sustancias presentes en las aguas residuales.

IV.2.3.5. Proceso de fotocatalisis heterogénea

El proceso de fotocatalisis heterogénea se basa en el uso de radiación UV, para foto-excitar un catalizador semiconductor en contacto con el agua y presencia de oxígeno.

En la **Tabla XVII**, se indica un alto porcentaje de eliminación de los CEs, con una degradación del 82 al 100%. De acuerdo con los resultados del ACE-K, se puede observar una diferencia en los porcentajes de eliminación, dado que se utilizaron distintos catalizadores en dos estudios diferentes. Cabe indicar que en la remoción del 42% se utilizó como catalizador el ZnO dopado con 1% de $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$, mientras que el 100% de remoción, se utilizó el TiO_2 , siendo este es uno de los catalizadores más utilizado debido a su naturaleza inerte y su fotoestabilidad.

Tabla XVII. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso fotocátalisis-heterogénea.

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
Fotocatálisis Heterogénea	Fármacos	Mebendazol	95%	Agua residual	[MBZ]: 20 mg/L, [TiO ₂]: 5 mg/L, pH: 7,5, t:35 minutos.	Khataee et al., 2020
Fotocatálisis Heterogénea	Fármacos	Paracetamol	90%	Agua residual	[TiO ₂]: 5 mg/L T°: 25°C, pH: 7,94, t:60 minutos.	Maldonado et al.,2015
		Antipirina	90%			
		Sulfametoxazol	90%			
		ketorolaco	90%			
		Diclofenaco	90%			
		Ibuprofeno	90%			
	Disruptor endocrino	Progesterona	90%			
	Agente industrial	Triclosán	90%			
Droga	Cafeína	90%				
Agente Industrial	Hidroxibifenilo	90%				
Pesticida	Isoproturón	90%				
Fotocatálisis heterogénea	Agente industrial	Triclosán	82%	Agua residual	[TiO ₂]: 10 mg/L [TCS]:5mg/L Fuente UV: 365 nm, pH:7.	Da Silva, 2014
Fotocatálisis heterogénea	Fármaco	Naproxeno	90,41%	Agua residual	[TiO ₂]:100 mg/L, [Naproxeno]:10 mg/L, irradiada UV: 300-400 nm, durante 60 minutos.	Olivarez, 2014
Fotocatálisis heterogénea	Edulcorante artificial	Acesulfamo de potasio (ACE-K)	42%	Agua residual	[ACE-K]: 20 mg/L, [catalizador]:100 mg/L de ZnO dopado con 1% de Ce(SO ₄) ₂ , intensidad de radiación:750 W/m ² , T°:25°C, t:10 minutos.	Calza & Tutore, 2017
ACE-K		100%	Agua residual	[ACE-K]: 20 mg/L, pH: 6, [TiO ₂]: 1000 mg/L, intensidad de irradiación: 100 mW/cm ² , adsorción previa:1 hora, t: 30 minutos.	Ghosh et al., 2018	

Elaborado por: Autores

I.V.2.3.6. Proceso de ultravioleta y peróxido de hidrogeno (UV/H₂O₂)

En la **Tabla XVIII**, se compara los diferentes tipos de CEs tratados por el proceso de oxidación avanzada UV/H₂O₂. Los estudios realizados por De la Cruz et al., (2012) lograron eliminar concentraciones de fármacos presentes en muestras de aguas residuales, obteniendo el 100% de eliminación, resultando ser efectiva para fármacos como la azitromicina, claritromicina, norfloxacin, ofloxacin, eritromicina, sulfametoxazol, sulfapiridina, trimetropina, y metronidazol, utilizando varias concentraciones de H₂O₂. Este método es uno de los procesos de oxidación avanzada más antiguos, usado exitosamente en la degradación de contaminantes presentes en aguas y efluentes industriales, incluyendo organoclorados alifáticos, aromáticos, fenoles y plaguicidas, entre otros.

Tabla XVIII. Eficiencia de eliminación de los CEs utilizando el proceso de UV/ H₂O₂

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CEs	Contaminantes emergentes (CEs)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
UV/ H ₂ O ₂	Fármacos	Azitromicina	100%	Agua residual	[H ₂ O ₂]: 50 mg/L, t:30 minutos, pH: 2,5, Energía:550 W/m ² ; T°:17°C.	De la Cruz et al., 2012
		Claritromicina				
		Norfloxacin				
		Ofloxacin				
		Ciprofloxacino				
		Ciprofloxacino	99%		[H ₂ O ₂]: 20 mg/L; radiación UV a 254 nm t=75 minutos; pH=7,9.	Olivares et al., 2016
		Ciprofloxacino	93%		[H ₂ O ₂]: 30 mg/L, t:18 segundos; pH=2,5, energía=170 J/L.	Rodríguez-Chueca et al., 2019
		Eritromicina	100%		[H ₂ O ₂]: 1,72 mg/L, t=15 minutos, pH=6,5, energía: 2768 mJ/L.	Kim et al., 2009
		Sulfametoxazol	100%		[H ₂ O ₂]: 50 mg/L; t: 30 minutos, pH:2,5, energía:550 W/m ² ; T°:17 ° C	Cruz et al., 2012
		Sulfapiridina	100%		[H ₂ O ₂]:1,72 mg/L, t=15 minutos, pH=6,5; energía=2768 mJ/L.	Kim et al., 2009
Sulfametoxazol	99%	[H ₂ O ₂]: 20 mg/L, t=75 minutos, pH=7,9.	Olivares et al., 2016			
Sulfametazina	97%	[H ₂ O ₂]: 30 mg/L, t= 60 minutos, pH=7.	Pan et al., 2019			
Sulfadiazina	97%					

		Trimetoprima	100%		[H ₂ O ₂]: 1,72 mg/L, t:15 minutos, pH:6 , energía:2768 mJ/L.	Kim et al., 2009
		Trimetoprima	100%		[H ₂ O ₂]: 50 mg/l, t:30 minutos, pH: 2,5; Energía=550 W/m ² ; T°:17°C	Cruz et al., 2012
		Metronidazol	100%		[H ₂ O ₂]: 20 mg/L de H ₂ O ₂ ; t:75 minutos; pH:7,9	Pan et al., 2019
		Metronidazol	92%			
		Tetraciclina	99%		[H ₂ O ₂]: 1,72 mg/L;t:15 minutos, pH:6,5; energía:2768 mJ/L	Kim et al., 2009
		Tetraciclina	97%		[H ₂ O ₂]:30 mg/L ;t= 60 minutos; pH:7	Pan et al., 2019
		Oxitetraciclina	97%			
UV/ H ₂ O ₂	Fármacos	Bezafibrato	67%	Agua residual	[H ₂ O ₂]:30mg/L Radiación UV a 254 nm,pH:7 ,T°:22°C	Cruz N. , 2013
		Carbamazepina	67%			
		Diclofenaco	99%			
		Naproxeno	81%			
		Primidona	51%			
		Atenolol	52%			
		Metoprolol	60%			
	Ciprofloxacino	83%				
Pesticidas	Atrazina	55%				
	Mecoprop	75%				
UV/ H ₂ O ₂	Edulcorantes Artificiales	Sucralosa	92%	Agua residual	[SUC]:100 µg/L, fluencias UV: 750 y 1500 mJ/cm ² , [H ₂ O ₂]: 10 mg/L.	Lester et al., 2014
		Sucralosa	75%		[SUC]: 0.126 mM, [H ₂ O ₂]: 30.78 mg/L, pH:7, t:60 minutos.	Xu et al., 2016

Elaborado por: Autores

I.V.2.3.7. Proceso de ultravioleta y ozono

En la **Tabla XIX**, se describen los CE's presentes en aguas residuales por el proceso de tratamiento por UV/O₃, se estudiaron moléculas como la estrona que obtuvo una degradación del 90%, y la cafeína con un 95%. Este proceso es muy eficaz para la degradación de los CE's como el fenol sintético (100%), etilenglicol,1,4, diaxano (98%), indol (99%), xileno (98%), dimetilbenceno (99%) y también en edulcorantes artificiales como sucralosa con un 93%.

Tabla XIX. Eficiencia de eliminación de los CE's utilizando el proceso de oxidación avanzada por UV/O₃

PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA						
Tipo de tratamiento	Categoría CE's	Contaminantes emergentes (CE's)	Eficiencia de eliminación %	Tipo de Agua	Condiciones externas	Referencia
UV/O ₃	Disruptor endocrino	Estrona	90%	Agua residual	Conc:5 mg/l, pH:6,5, Lámpara de Hg de baja presión de 13 W, T°:20 °C, t:30 minutos	Sarkar et al., 2014
UV/O ₃	Agente industrial	Triclosán	90%	Agua residual	pH:12, relación molar de ozono; 1.2nMb [TCS]: 5 mg/L; tiempo de contacto UV de 120 min.	Anupama et al., 2018
UV/O ₃	Droga	Cafeína	95%	Agua residual	[C] ₀ :40 mg/L, pH: 7, UV:32W; t: 22,5 min.	Siqueira et al., 2015
UV/O ₃	Pesticidas	Metil tert-butil éter (sintético)	70%	Agua residual de industria petroquímica	Carga inicial 1,0 mM, lámpara UV: 254nm, [H ₂ O ₂]:10mM, pH:3,60 min	Hu et al., 2007
		Fenol	90%		Carga inicial 300 mg/L [H ₂ O ₂]: 3 Mm, [Fe ²⁺]: 0,01, T°: Ambiente, 24 h.	Clemente et al., 2014
		Fenol (sintético)	100%		Carga inicial: 1,01-1,06 mM, [H ₂ O ₂]:10,7 mM, [Fe ²⁺]:0,054 mM, pH:3-3,5, T°: 25, 9 min.	Espluugas et al., 2002
		Fenol (sintético)	100%		Carga inicial: 40 mg/L, [H ₂ O ₂]:200 mg/L, [Fe ²⁺]:55 mg/L, pH= 3, T°: 25, t:9 min.	Maciel et al., 2004
		Metil tert-butil éter (sintético)	99%		Carga inicial: 1mM, [H ₂ O ₂]: 200 mg/L, [Fe ²⁺]:2mM, pH:2,8, t:120 min.	Burbano et al., 2008
		Benzopireno (sintético)	90%		Carga inicial: 10ug/L, [H ₂ O ₂]: 50 mg/L, [Fe ²⁺]: 3,75 mg/L, pH:3,5, T°:40°C, t:90 min.	Homem et al., 2009
		Etilenglicol, 1,4 diaxano (real)	98%		Carga inicial: 11,500 mg/L, [H ₂ O ₂]: 3M, [Fe ²⁺]: 0,06M, pH: 3, t: 100 min.	Ghosh et al., 2010
UV/O ₃		Fenol (real)	82%		Carga inicial: 553 mg/L, [H ₂ O ₂]: 900 mg/L, [Fe ²⁺]: 125 mg/L, pH: 3, t: 210 min.	Guimaraes et al., 2012

Elaborado por: Autores

I.V.3. Clasificación de las moléculas contaminantes que presentaron mayor eficiencia de eliminación en los tratamientos estudiados.

De acuerdo con el objetivo 3, se procura alcanzar la eficacia de eliminación en los tratamientos estudiados para la recuperación de la calidad del agua.

Tabla XX. Clasificación de los contaminantes con mayor eficacia de eliminación.

CATEGORÍA DEL COMPUESTO	CONTAMINANTES EMERGENTES
Agente Industrial	Triclosán
Fármaco	Diclofenaco
Disruptor endocrino	Bisfenol A
Pesticida	Isoproturón
Edulcorante artificial	Acesulfamo de potasio

Elaboración: Autores

IV.3.1. Agente industrial

El triclosán (TCS) es un contaminante ubicuo con una amplia gama de usos, generalmente se utiliza como antibacteriano, antiséptico y desinfectante en las industrias de productos de cuidado personal, se caracteriza por estar presente en aguas residuales. Por su naturaleza hidrofóbica, no puede interaccionar con las moléculas del agua.

En el **Gráfico 1**, se presenta el porcentaje de eliminación del TCS versus los tratamientos utilizados para dicho proceso. Se pudo evidenciar una remoción >90%, en los procesos de oxidación avanzada y en los procesos biológicos aeróbicos.

Se ha verificado que los procesos de Fenton resultaron ser los tratamientos más eficaces con el 100% de eliminación, donde se utilizaron concentraciones de H₂O₂ en un rango de 10 a 20 mM a un pH de 6-7. Por otro lado, en los procesos con radicación UV y la adición de O₃, se observó que la remoción es

del 90%, siendo este un porcentaje mayor frente a los procesos fisicoquímicos como el carbón activado en polvo (32%) y el proceso de ultrafiltración (87%).

En definitiva, el triclosán como otras moléculas contaminantes de uso industrial con afinidad hidrofóbica como se indica en el **Anexo A**, pueden ser eliminadas fácilmente por medio de los procesos de oxidación avanzada y procesos biológicos antes mencionado.

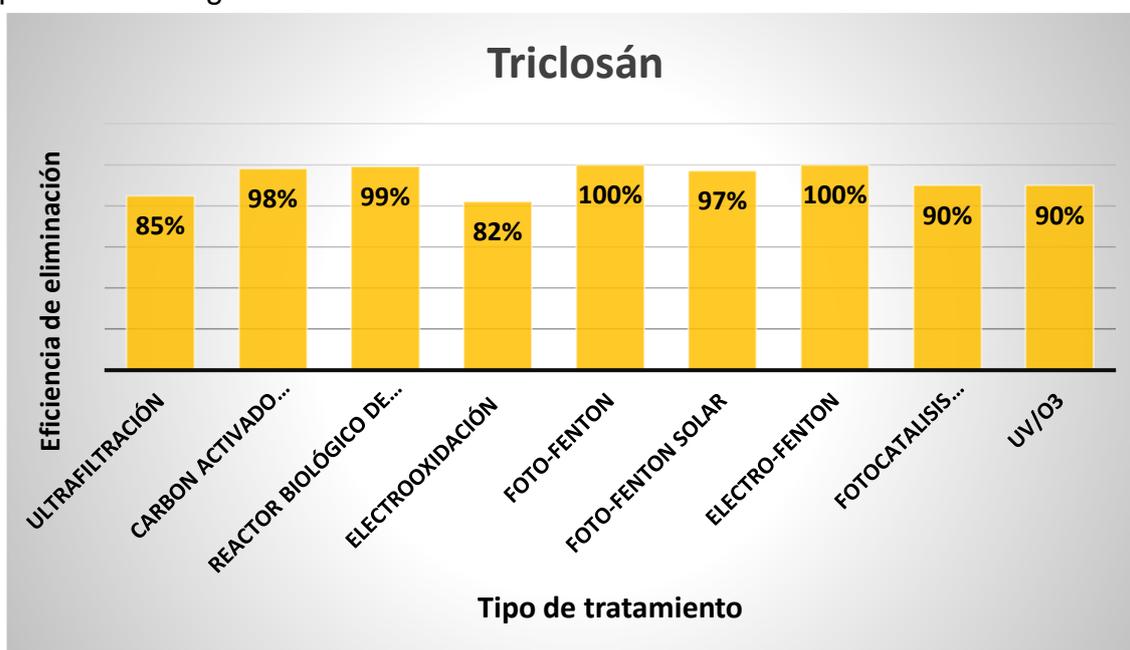


Gráfico 1. Eficiencia de eliminación del triclosán por distintos tratamientos.

IV.3.2. Productos farmacéuticos

Los fármacos son un grupo importante de CEs, su presencia en aguas residuales ha generado preocupaciones importantes, con respecto a los riesgos de efectos estrogénicos y adversos en los seres humanos y la fauna.

El diclofenaco es un fármaco empleado para la elaboración de analgésico y antiinflamatorio, con un peso molecular de 296.148 g/mol y su coeficiente de partición es de 4.51, dando referencia a una molécula con naturaleza hidrofóbica como se lo indica en el **Anexo E**.

En el **Gráfico 2**, se detalla la eficiencia de eliminación del diclofenaco como representación de los fármacos, ya que se encuentra presente en los diferentes tratamientos estudiados para su remoción como CE. Su mayor eficacia de eliminación se desarrolló por los procesos de oxidación avanzada, en un rango de 74% al 100%, tal es el caso en el proceso de Foto-Fenton con un 100% de

remoción en una concentración de 5 mM de Fe^{2+} y 10 mM de H_2O_2 , por 40 minutos.

En el proceso biológico por lodos activados se obtuvo una remoción del 90%, sin embargo, el diclofenaco en el proceso de UF mostró una deficiencia de eliminación del 68%, cabe destacar que, en general, la eficiencia de retención de UF no es muy alto. Estudios realizados en la **Tabla V**, detallan que la retención de estas moléculas contaminantes por el proceso de UF, fueron menor al 50% en su eliminación. Considerando que es un proceso de absorción y no exclusión de tamaño, debido al tamaño de poro relativamente grande.

Por esta razón cabe mencionar que para la eliminación de los compuestos farmacéuticos es recomendable realizar los tratamientos químicos avanzados, donde se obtiene una mayor eficacia y son técnicas competentes para su remoción.

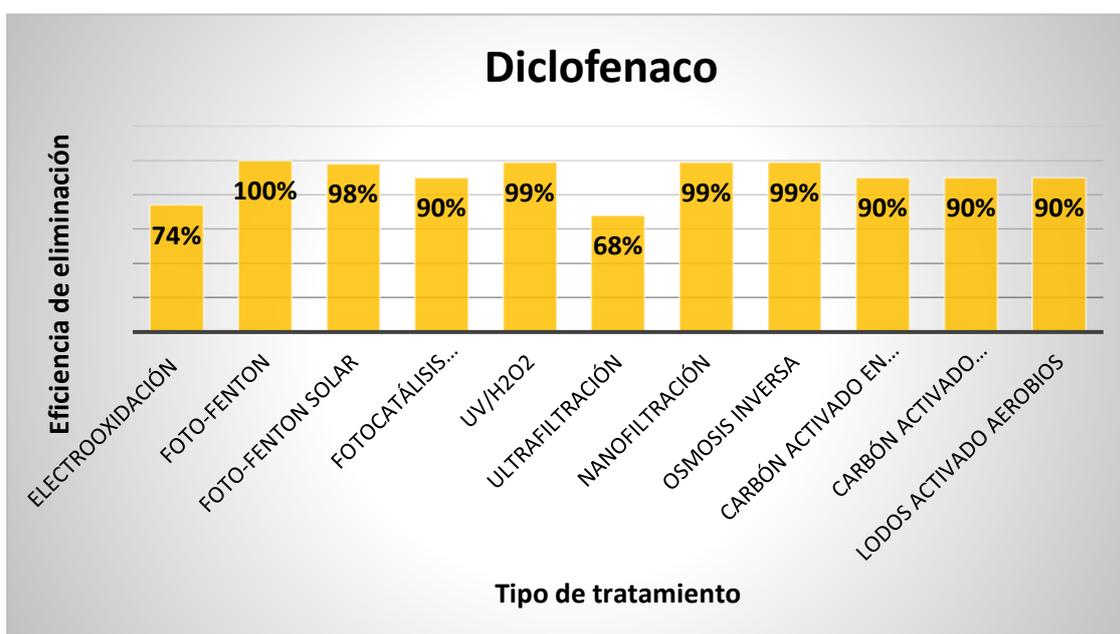


Gráfico 2. Eficiencia de eliminación del diclofenaco por distintos tratamientos.

IV.3.3. Disruptor endocrino

En cuanto a los disruptores endocrinos son sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal del organismo humano, provocando efectos negativos a la salud como enfermedades neurológicas, cáncer, trastornos cardiacos, trastornos de la función reproductiva masculina y femenina, entre otros. Por lo general su principal problema sobre el organismo es que son acumulativo e irreversible.

En el **Gráfico 3**, se muestran distintos estudios de tratamientos utilizados para la eliminación del bisfenol A, obteniendo como resultado un 98% de eliminación en los procesos de oxidación avanzada, mientras que en los procesos de osmosis inversa y biorreactor de membrana se demostró el 99% de eliminación.

En definitiva, una de las técnicas recomendadas para la eliminación de estos compuestos endocrinos son los tratamientos biológicos donde se utilizan los procesos de MBR, con una remoción del 99% en condiciones aeróbicas donde incluye la utilización de membranas para así generar una mayor reducción en los CEs.

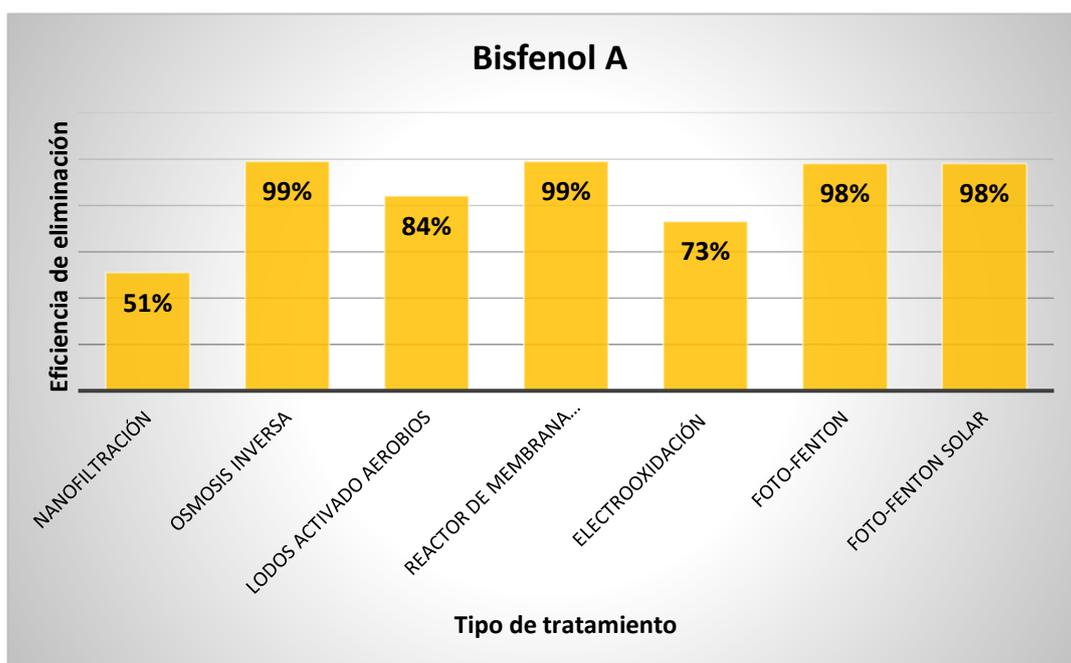


Gráfico 3. Eficiencia de eliminación del bisfenol A por distintos tratamientos.

IV.3.4. Edulcorante artificial

Los edulcorantes artificiales son compuestos químicos cuyo destino final tras su consumo es el agua. Los seres humanos ingieren edulcorantes artificiales, que normalmente no se metabolizan después de la ingestión, por lo que se integrarán en las aguas residuales e incluso resistirán la degradación total en una planta de tratamiento de agua convencional.

Destacando su uso en productos como goma de mascar, chicles, caramelos, bebidas energéticas, cervezas y licores bajos en alcohol, en refrescos,

gaseosas, sodas, tónicas, tes fríos, zumos, néctares, jugos, frutas en almíbar, batidos saborizados, leches vegetales, chocolates, lácteos, entre otros.

En el **Gráfico 4**, se muestra el porcentaje de ACE-K eliminado por diferentes tratamientos. En los procesos de oxidación avanzada (como foto-Fenton, fotocátalisis heterogénea y electrooxidación), el resultado de remoción es del 100%, lo que se puede decir que el proceso de electrooxidación es el más conveniente para la degradación de edulcorantes artificiales (ACE-K), debido a la menor cantidad de componentes requeridos para su ejecución y, al mismo tiempo, se logra una eficiencia de remoción similar o incluso mayor, comparada con otros POA.

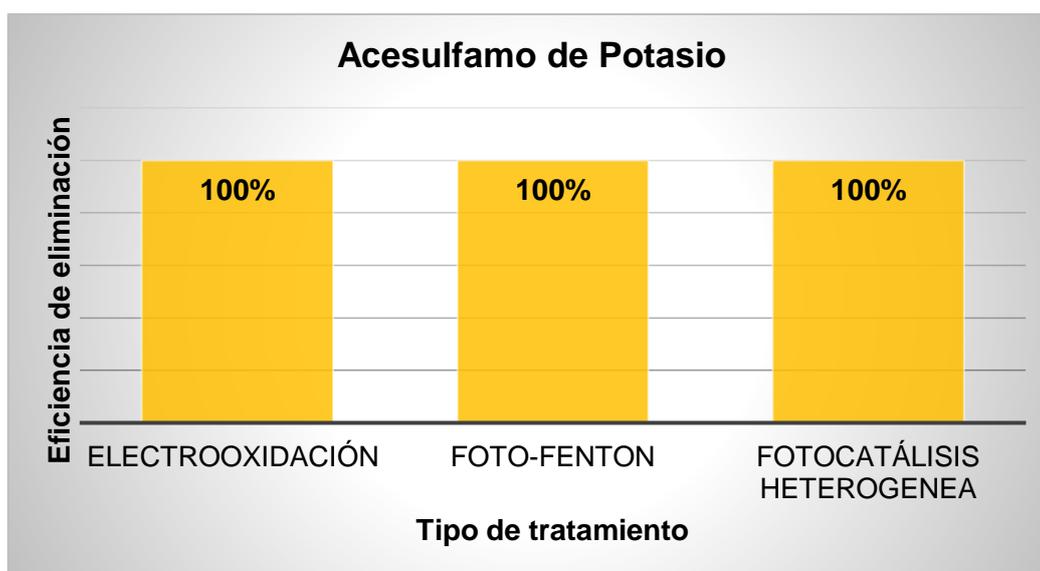


Gráfico 4. Eficiencia de eliminación de acesulfamo de potasio por distintos tratamientos.

IV.3.5. Pesticidas

Los pesticidas son productos químicos utilizados con fines agrícolas, en los últimos años la preocupación se centra en los metabolitos y productos de degradación, que en su mayor parte son ignorados. Estos han llegado a ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan.

En el **Gráfico 5**, se muestra el porcentaje de eliminación del compuesto isoproturón frente a los distintos procesos de tratamientos en las aguas residuales. Por lo cual se evidenció una eficacia de eliminación del 100% en el

proceso de carbón activado granular, siendo este un potente absorbente, destacándose ser un método económico y fiable.

Sin embargo, en el proceso de UF demostró un 42% de eliminación, revelando que por este proceso no es efectiva la eliminación de este tipo de CE. Por otra parte, en los tratamientos biológicos el porcentaje de eliminación fue del 97%, por el proceso de reactor de películas anaeróbico a un pH de 5.96. En cuanto a los tratamientos de oxidación avanzada se muestra una eficacia de eliminación del 90% para el proceso de fotocátalisis heterogénea utilizando 5mg/L de TiO₂ como concentración del catalizador.

De manera que para la eliminación de estos compuestos de origen agrícola (isoproturón), es recomendable utilizar los procesos de reactor de películas anaeróbicas y el proceso de carbón activado granular, donde garanticen un mayor porcentaje de eliminación para dichos CE.

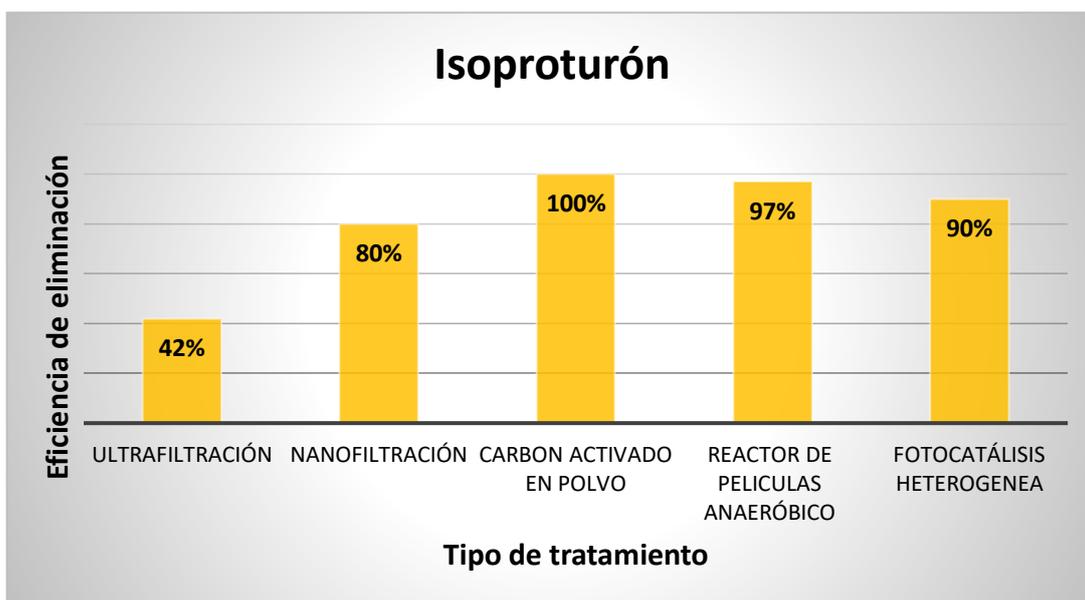


Gráfico 5. Eficiencia de eliminación del isoproturón por distintos tratamientos

IV.4. Cantidad de contaminantes emergentes estudiados por cada proceso de tratamiento.

En el **Gráfico 6**, se muestra el número de compuestos orgánicos contaminantes estudiados por cada tipo de tratamiento. Cabe destacar que no todas las sustancias se analizan por cada tratamiento.

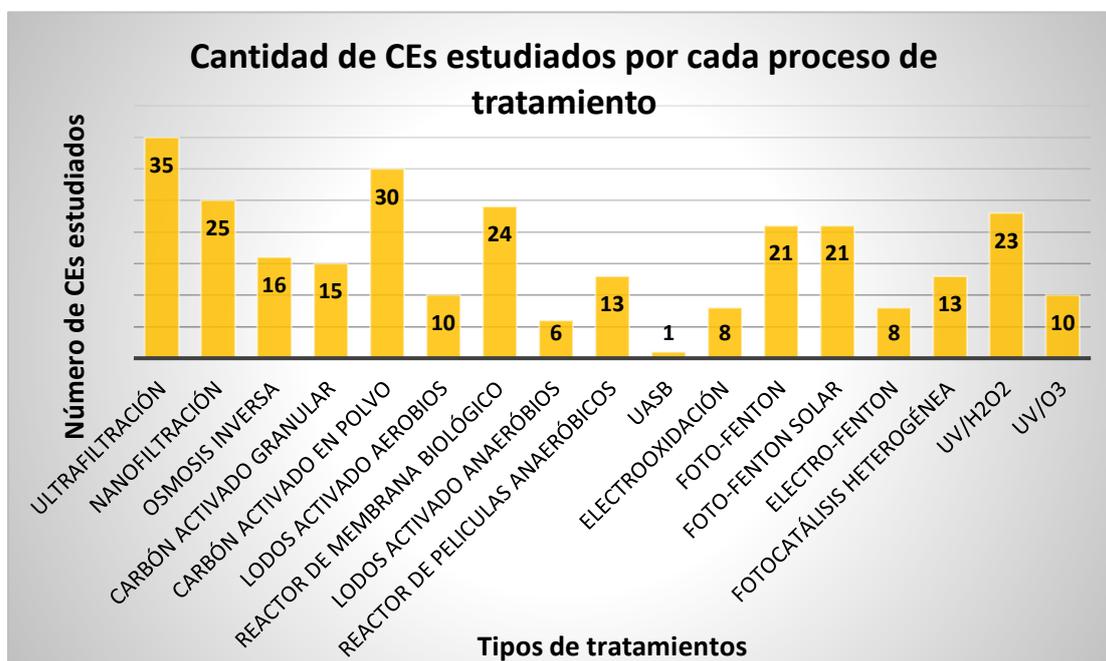


Gráfico 6. Cantidad de CEs estudiados por cada proceso de tratamiento.

IV.5. Cantidad de contaminantes emergentes clasificados por las categorías estudiadas.

En el análisis de las literaturas revisadas sobre los procesos de tratamiento para la eliminación de los CEs presentes en las aguas residuales. Se pudo analizar 126 contaminantes emergentes de los cuales se han clasificado por categorías como: 5 agentes industriales, 11 disruptores endocrinos, 3 drogas ilícita, 4 edulcorantes artificiales, 73 fármacos y 30 pesticidas. En el **Gráfico 7**, se puede observar la cantidad porcentual de CEs clasificados por su categoría.

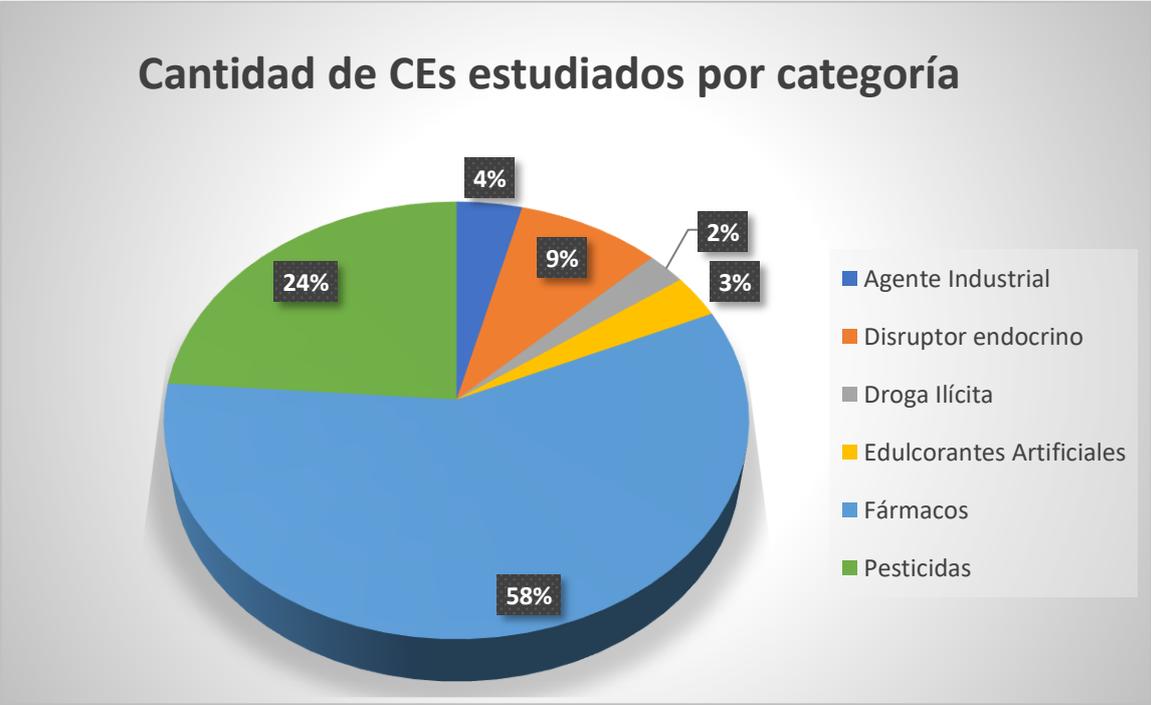


Gráfico 7. Porcentaje de los CE clasificados por las categorías estudiadas

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se evaluó la eficacia de eliminación de los procesos de tratamientos en las aguas residuales urbanas, comprobando que estos tratamientos degradan los CEs, lo cual depende de la estructura del compuesto y las condiciones que se utilicen en cada proceso.
- Se identificó la presencia de contaminantes orgánicos emergentes en aguas residuales, evidenciándose que en base al análisis de trabajos preliminares los compuestos de mayor consumo son los fármacos de uso humano y veterinario.
- Se evaluó la factibilidad y la eficacia de eliminación que tienen los tratamientos físicos, químicos y biológicos, demostrando que los procesos con mayor eficacia de remoción para los CEs fueron los procesos de oxidación avanzada con un 90% de eliminación, ayudando a la recuperación de la calidad del agua.

V.2. Recomendaciones

- Realizar la identificación de sustancias contaminantes presentes en arroyos naturales de Ecuador.
- Ampliar la información del estudio en la identificación de los potenciales procesos de tratamientos para la eliminación de los compuestos orgánicos emergentes.
- Dar seguimiento a los efectos negativos que provocan los CEs, ocasionando daños a la salud y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., & Abreu, O. (2015). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 35-48. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Ahmed, M. B., Zhou, J., Hao, H., Guo, Thomaidis, N., & Xu, J. (Marzo de 2016). Advances in the technologies of biological and chemical treatments for the elimination of pollutants from wastewater. *Hazardous materials journal*. doi: 10.1016 / j.jhazmat.2016.04.045
- Althaus, F., Hungerbühler, K., Jobling, S., & T Ruegg, U. (Mayo de 2008). Endocrine Disruptors: Relevance to Humans, Animals and Ecosystems: Research Highlights from the National Research Programme NRP50. *CHIMIA International Journalfor Chemistry*, 62(5), 316-317. doi:10.2533/chimia.2008.316
- Alvarez, A. P., & Castillo, A. (2015). Peña-Alvarez A, Castillo-Alanis A. Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatográfica de gases-espectrometría de masas (MEFS-GC-EM). OIIP. *Revista especializada de ciencias químico-biológicas*, 18(1), 29-42.
- Arango, O. (Diciembre de 2010). Treatment of dairy industry wastewater using UASB Anaerobic System. *Facultad de ciencias Agropecuarias*, 7(2).
- Aranzazu, D., Rodriguez, B., & Agudelo, B. (24 de abril de 2012). Disrupción endocrina en peces. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25, 312-323.
- Barcelo, D. L., & López de Alda, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *PANEL CIENTÍFICO-TÉCNICO DE SEGUIMIENTO DE LA POLÍTICA DE AGUAS*.
- Barcelo, L. D., & Alba, M. J. (2015). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC (Barcelona)-Fundación*

Nueva Cultura del Agua. Obtenido de https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf_contaminacion.pdf

- Barrios, J., Becerril, E., Leon, C. D., Barrera, & Jimenez. (2014). Tratamiento de electrooxidación para la eliminación de los contaminantes. *Combustible*, 46.
- Beier, S., Koster, S., Veltmann, K., & Pinnekamp, H. F. (2010). Tratamiento de efluentes de aguas residuales hospitalarias mediante nanofiltración y osmosis inversa. *Instituto de ingeniería ambiental*. doi:10.2166/wst.2010.119
- Benites, A. A. (2019). Fraccionamiento De La Materia Orgánica De Efluentes Secundarios De Agua Residual Urbana Y Su Influencia En El Ensuciamiento De Membranas De Ultrafiltración. *RiuNet*, 24-29.
- Black & Veatch Corporation. (2010). *"Advanced Oxidation Processes"* (5ta Ed. ed.). (J. W. Sons, Ed.) Black & Veatch Corporation. doi:<https://doi.org/10.1002/9780470561331.ch18>
- Buerge, I., Buser, H., Kahle, M., & Poiger, T. (2016). Ubiquitous Occurrence of the Artificial Sweetener Acesulfame in the Aquatic Environment: An Ideal Chemical Marker of Domestic Wastewater in Groundwater. *Environmental science & Technology*, 4381-4385. doi:[doi://doi.org/10.1021/es900126x](https://doi.org/10.1021/es900126x)
- Bui, X., Vo, T., Ngo, H., Guo, W., & Nguyen, T. (Mayo de 2016). Multicriteria Assessment of Advanced Treatment Technologies for Micropollutants Removal at Large-Scale Applications. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.191
- Calderon, C. (2015). Identificación y descripción de los sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales.
- Calvo, J. M. (2015). Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes de aguas residuales mediante oxidación electroquímica con ánodo de diamante dopado con boro. *Universidad de Castilla-La Mancha*.
- Campos Gómez, I. (2000). En EUNED (Ed.), *Saneamiento Ambiental* (pág. 225).

- Campoverde Lata, A. (2019). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA EMPACADORA DE PESCADO. *Ingenieria Ambiental*.
- Cardenas, J. G., Garcia, B., Aguera, A., Sanchez, J., & Manzano, F. (Diciembre de 2019). Tratamiento de aguas residuales por proceso de oxidacion avanzada y sus tendencias de investigación mundial. *Revista Internacional de Investigacion ambiental y salud publica*, 325-368.
- Carrasco, J. d., Delgado, C. Y., & Cobos, D. F. (Diciembre de 2017). Emerging contaminants and its impact on the healt. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, 55-59. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30096>
- Casado, J., Brigden, K., & Johnston, P. (20 de June de 2019). Screening of pesticides and veterinary drugs in small streams in the European Union by liquid chromatography high resolution mass spectrometry. *670*, 1204-1225. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.207>
- Castiglioni, S., Tarcomnicu, I., Postigo, C., Neels, H., & Zuccato, E. (September de 2011). Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: a critical review. *Sci Total Environ*, 3564-3577. doi:[10.1016/j.scitotenv.2010.05.030](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.030)
- Chen, R., Yin, P., Zhao, L., Yu, Q., Hong, A., & Duan, S. (1 de november de 2014). Prenatal nonylphenol exposure, oxidative and nitrate stress, and birth outcomes: A cohort study in Taiwan. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2340-2347. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.019>
- Cisneros Jimenéz, B. (2001). La contaminación ambiental en México : causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México.
- Clemente, A. R., Arrieta Chica, E. L., & Peñuela Mesa, A. G. (Diciembre de 2013). *Revista Ambiente & Agua. Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes*, 8(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1176>

- Clemente, J. (2015). Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. *Ingeniería textil y papelera*.
- Comisión estatal de agua de Jalisco. (2013). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados. *Dirección de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales*.
- Comisión Europea. (2011). DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO . Obtenido de <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2011/ES/1-2011-876-ES-F1-1.Pdf>
- Comisión Nacional contra las Adicciones. (2017). Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco, ENCODAT 2016-2017. *Gobierno de México*.
- Cruz Vera, M., Palero Sanz, J. M., Rodríguez, R. L., Cárdenas Aranzana, S., & Valcárcel Cases, M. (2012). Análisis de la directiva europea 98/83/CE: paradigma de la justificación y establecimiento de los valores paramétricos. El caso concreto de los plaguicidas. *Revista Española de Salud Pública*, 86(1), 1135-5727. Obtenido de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272012000100003
- Cruz, C., Pérez, D., & Mandragon, M. (4 de julio de 2019). Medición de drogas ilícitas en aguas residuales: estudio piloto en México. *Salud pública de México*, 61(4).
- Cruz, M., Palero, J., Lucena, R., Cárdenas, S., & Valcarcel, M. (2012). Analysis of the European Directive 98/83/EC: Paradigm of the Justification and Establishment of Parametric Values. The Specific Case of Pesticides. *Rev. Esp. Salud Pública*, 86(1). Obtenido de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272012000100003&lng=es&nrm=iso. ISSN 2173-9110.
- Cruz-González, G., Julcour, C., & Jáuregui-Haza, U. (2017). El Estado actual y perspectivas de la degradación de pesticidas por procesos avanzados de

- oxidación. *Revista Cubana de Química*, 29(3), 492-516. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4435/443552968013>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. (N. Antequera Durán, Ed.)
- Deng, Y., & Zhao, R. (Septiembre de 2015). "Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment". *Current Pollution Reports*, 1(3), 167-176. doi:<https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>
- Derrouiche, S., Bourdin, D., Roche, P., Houssais, B., Machinal, C., Coste, M., . . . Pereira, M. F. (2013). Process design for wastewater treatment: catalytic ozonation of organic pollutants. *Water Science Technology*, 68(6), 1377-1383. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2013.384>
- Desario, P., & Gray, K. (2012). Passive Systems to improve air quality and reduce heat retention in the urban environment. (F. Zeman, Ed.) *Metropolitan Sustainability, Understanding and improving the urban environment*. 1. Ed., 292-316. doi:10.1533/9780857096463.3.292
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (5 de 12 de 1998). *DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO*.
- Dominguez. (2008). Contaminación de las aguas por disruptores endocrinos. *El agua*.
- DOP. (2013). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados. *Dirección de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales*.
- Doria Herrera, G. M., Peñuela Meza, G., & Valencia, G. C. (Diciembre de 2019). 4-nonilfenol: efectos, cuantificación y métodos de remoción en aguas superficiales y potables. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 11(1), 117-132. doi:DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3235>
- Duarte, C. (2006). Impacto de la activa humana sobre el sistema tierra. *Consejo superior de investigaciones científicas*, 170.
- EPA. (s.f.). Agua potable. *agencia de proteccion ambiental de los estados unidos*.

- Escobar, M. A. (2019). *Contaminantes emergentes: origen y destino*. Madrid: Universidad de Alcalá . Obtenido de <http://hdl.handle.net/10017/41874>
- Estrada Arriaga, E. B., Mantilla Morales, G., Ramirez Salinas, M., Sanchez Zarza, M., & Moeller Chavez, G. (2013). Occurrence and Treatment of Endocrine Disrupter Chemicals in Mexico City Waste Water Semplying Submerged Membrane Bioreactor. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14(2), 275-284. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v14n2/v14n2a11.pdf>
- European Parliament. (1998). COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, 32-54. Recuperado el 2006
- FAO. (03 de Febrero de 2017). *Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura*. Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?lang=es&keywords=Agua+residual&submit=Buscar&subjectId=-1&submitBtn=-1&p=100&termId=-1>
- Ferrer Polonio, E., McCabe, M., Mendoza, R., & Vela, V. (25 de Noviembre de 2018). Fractionation of secondary effluents of wastewater treatment plants in view of the evaluation of membrane fouling in a further ultrafiltration step. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(5). doi:<https://doi.org/10.1002/jctb.5520>
- Field, J. (2002). High Rate Anaerobic Wastewater Treatment. *University of Arizona*.
- Flores Rubio, C. (Noviembre de 2015). Espectrometría de masas de alta resolución y en tándem. Análisis de alto rendimiento de contaminantes orgánicos emergentes en agua. *Universitat de Barcelona*.
- Focazio, M., Kolpin, D., Barnes, K., Furlong, E., Meyer, M., Zaugg, S., . . . Thurman, M. (23 de apr de 2008). A national reconnaissance for pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States--II) untreated drinking water sources. *Sci Total Environ*, 2-3. doi:10.1016 / j.scitotenv.2008.02.021

- Gómez, L. S., Rosell, M. C., & Salazar, R. (2009). Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana. *Ingeniería y Desarrollo*(26), 83-99. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212233007>
- Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Investigación y desarrollo*, 1(17). doi:<http://dx.doi.org/10.23881/idupbo.017.1-7i>
- García, M., & Pérez, J. (s.f.). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas: Aguas residuales composición. Granada, Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (December de 2012). Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Review article*, 7(2), 53-72. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gil, Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (Diciembre de 2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción más Limpia- Scielo*, 7(02), 52-73.
- Guarín Llanes, C. Y., & Mera Benavides, A. C. (2011). Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(19), 79-88. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75022317007>
- Guzmán, C., & Zambrano, E. (Febrero de 2007). Compuestos disruptores endocrinos y su participación en la programación del eje reproductivo. *Revista de investigación clínica*, 59(1). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-83762007000100009
- He, H., & Zhou, Z. (18 de December de 2017). Electro-Fenton process for water and wastewater treatment. *Electro-Fenton process for water and*

- wastewater treatment*, 47, 2100-2131.
doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1405673>
- Homen, & Santos. (2011). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices - A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 2304-2347. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.023>
- Huertas, R. A. (Julio de 2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 01(2), 142-159.
- INEC. (2012). 7 de cada 10 hogares en el país no ahorran agua. INEC presenta Encuesta. *Instituto nacional de estadística y censo*.
- Información Farmacoterapéutica de la Comarca. (2016). Farmacontaminación. Impacto ambiental de los medicamentos. *Infac*, 24(10). Obtenido de <https://www.euskadi.eus/eusko-jaurjaritza/cevime/>
- International Agency for Research on Cancer. (s.f.). MONOGRAFÍAS DE LA IARC SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS CANCERÍGENOS PARA LOS SERES HUMANOS. *World Health Organization*.
- Jimenez Cartagena, C. (12 de Diciembre de 2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Redalyc*, 8(2), 145. Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69522607016.pdf>
- Jiménez, O. (2008). Disruptores endocrinos en el medio ambiente: Caso del 17- α -etinil-estradiol. *Unidad de Toxicología. Dpto. de Sanidad Animal. Facultad de Veterinaria (UEX)*.
- Juárez, H. R. (2020). Procesos de Oxidación Avanzada y Electroquímicos para Remover Edulcorantes Artificiales del Agua. *CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA*, 17(1), 1-14. doi:
<http://dx.doi.org/10.20983/culcyt.2020.1.3.1>
- Klamerth, N., Malato, S., Agüera, A., & Fernández-Alba, A. (February de 2013). Photo-Fenton and modified photo-Fenton at neutral pH for the treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plant effluents: A

- comparison. *Water Research*, 47(2), 833-840.
doi:10.1016/j.watres.2012.11.008
- Lekkerkerker, K., Knol, A., Atena, L. V., & Houtman, C. J. (October de 2012). Serial ozone/peroxide/low pressure UV treatment for synergistic and effective organic micropollutant conversion. *Separation and Purification Technology*, 100, 22-29. doi:10.1016/j.seppur.2012.08.030
- Lekkerkerker, K., Knol, A., Derks, J., Heringa, M., & Houtman, C. (2013). Pilot Plant Results with Three Different Types of UV Lamps for Advanced Oxidation. *Ozone: Science & Engineering*, 38-48. doi:doi.org/10.1080/01919512.2013.721317
- Li, S., Geng, J., Wu, G., Gao, X., Fu, Y., & Ren, H. (2018). Removal of artificial sweeteners and their effects on microbial communities in sequencing batch reactors. *Scientific Reports*, 8(1), 1-10. doi:10.1038 / s41598-018-21564-x
- Lin, H., Octuran, N., Wu, J., Zhang, H., & Oturan, M. A. (February de 2017). Cold incineration of sucralose in aqueous solution by electro-Fenton process . *Separation and Purification Technology*, 173, 218-225. doi:https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.09.028
- Litter, M. I., & Quici, N. (2010). Procesos fotoquímicos avanzados de oxidación para tratamiento de agua y aguas residuales. *Patentes recientes de ingeniería. Bentham Science*, 4(3), 217-241. doi:10.2174 / 187221210794578574
- López, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales-escala laboratorio.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 13-21. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>
- Malato, S., & J. Blanco, D. A.-I. (2007). Photocatalytic decontamination and disinfection of water with solar collectors. *Catal. Today*, 122-137.

- Mariño , G., Quintana, J. B., Rodríguez, I., & Diez Gonzáles, M. (December de 2011). Screening and Selective Quantification of Illicit Drugs in Wastewater by Mixed-Mode Solid-Phase Extraction and Quadrupole-Time-of-Flight Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *environmental*, 84(3), 1708-1717. doi:10.1021 / ac202989e
- Martín Leal, J. C., Chinga Panta, A., Velásquez Ferrín, A. I., González Cabo, P. A., & Zambrano Rodríguez, L. M. (February de 2015). WASTEWATER TREATMENT OF A FISH PROCESSING INDUSTRY IN BATCH ANAEROBIC REACTORS. *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA*, 25(1), 27-42.
- Martín, E. A. (2019). Emerging pollutants Origin and destination. *Universidad de Alcalá*.
- Martínez, F. A. (2005). Actividad microbiana de un reactor anaerobio de película fija que depura aguas residuales de matadero. *Dialnet*, 80-135.
- Mayyahi, A. A., & Al-Asadi, D. H. (2018). Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment and Reuse: A Brief Review. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 2(3), 18-30. Obtenido de <http://ajast.net/data/uploads/6002.pdf>
- Medina Preciado, A., Segura Osorio, M., Pizarro Aguilar, Y., Ordoñez Santander, J., & Mackliff Jaramillo, C. (2019). 54Ecofarmacovigilancia y la determinación del diclofenaco sódico mediante electroanálisis. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(31), 54-63.
- Mendoza-Marín, C., Osorio, P., & Benítez, N. (05 de January de 2010). Decontamination of industrial wastewater from sugarcane crops by combining solar photo-Fenton and biological treatments. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 851-855. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.12.111
- Meng, S., Greenlee, L., Shen, Y., & Wang, E. (19 de Agosto de 2015). Basic science of water: Challenges and current status towards a molecular picture. *Springer Link*, 8(10), 3085-3100. doi:10.1007/s12274-015-0822-y.

- Monroy Guzmán, A. M., Gómez Reyes, E., Lavalle González, F. J., Montoya Romero, J. d., Jiménez Fernández, N. I., González Serrano, N., . . . García Velázquez, P. (2013). Posición de consenso sobre las bebidas con edulcorantes no calóricos y su relación con la salud. *Revista Mexicana cardiología*, 24(12), 55-68. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v24n2/v24n2a1.pdf>
- Morales , Y., Flores, M., Balza, A., Benitez, P., & Miranda, L. (2012). NIVELES DE PLAGUICIDAS EN AGUAS SUPERFICIALES DE UNA REGIÓN AGRÍCOLA DEL ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA, ENTRE 2008 Y 2010. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(4). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000400005
- Muñoz. (2015). Componentes de los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales. *Global Nature*, 15-30.
- Muñoz, J. F., & Orta, M. T. (Diciembre de 2012). Efecto del Ozono en la Remoción de Materia Orgánica Disuelta en un Efluente secundario. *Redalyc- EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*(18), 171-178.
- Nidheesh, P. V., & Gandhimathi, R. (2012). Trends in electro-Fenton process for water and wastewater treatment: An overview. *Desalination*, 1-15.
- Nitol, I., Ocescu, T., & Oancea, P. (2013). Mechanism and kinetic study for the degradation of lindane by photo-Fenton process. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 305-309. doi:10.1016/j.jiec.2012.08.016
- OMS. (2018). Aguas, saneamiento e higiene. *Organización mundial de la salud*.
- OMS. (12 de Julio de 2018). *Organización Mundial de la Salud* . Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de Organización Mundial de la Salud : <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Órgano Comisión Europea. (16 de mayo de 2019). Directiva (UE) 2019/782 de la Comisión, de 15 de mayo de 2019, por la que se modifica la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al establecimiento de indicadores de riesgo armonizados. *Legislación*.

- Oturan, M. A., & Aaron, J. (Septiembre de 2014). "Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications. A review". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(23), 2577-2641. doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829765>
- Perez, A. C., Yurico, K., & Sernaque, Y. (2016). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Chiclayo por medio de lodos activados a través de aireación extendida. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3894>
- Pidre, J. R., & Salas, J. J. (January de 2007). Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales: Generalidades. (C. d. (CENTA), Ed.)
- Pignatello, Oliveros, & Mackay. (2006). Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton and related chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(1), 1-84.
- Puturat, V., & Huang, K. (Junio de 2016). Degradation of acesulfame in aqueous solutions by electro-oxidation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 286-294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.016>
- Quiroz, M. H. (mayo de 2019). DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUA INTERSTICIAL EN SEDIMENTOS DE HUMEDAL MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2). doi:<https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.12>
- Quiroz, M., Bandala, E., & Martínez. (2011). Advanced oxidation process (AOPs) for removal of pesticides from aqueous media. . *M. Stoytcheva. Pesticides-Formulations*, 685-730.
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda, M. R., & Villalobos, M. F. (2003). En *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis* (Primera ed.). Mexico.

- Republica Francesa. (2015). Ministerio de ecología, desarrollo sostenible y energía y Ministerio de asuntos sociales, salud y derecho de las mujeres. *Marco del Plan Nacional sobre los Residuos de Medicamentos en las aguas*.
- Ribeiro, A. R., Nunes, O. C., Pereira, M. F., & Silva, A. M. (2015). An overview on the advanced oxidation processes applied for the treatment of water pollutants defined in the recently launched Directive 2013/39/EU. *Environment Internacional*, 75, 33-51. doi:10.1016/j.envint.2014.10.027
- Rios Ruiz, F. (11 de Septiembre de 2014). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales biodegradabilidad, toxicidad y ozonización. *Dialnet*.
- Robertson, W., Stempvoort, D., Roy, J., Marrón, S., Spoelstra, J., Schiff, S., & Rudolph. (2016). Use of an Artificial Sweetener to Identify Sources of Groundwater Nitrate Contamination. *Ground Water*, 54(4), 87-579. doi:10.1111/gwat.12399.
- Rodriguez , A., Fernandez, A., Letón, P., Dorado, M., Villar , S., & Sanz, J. M. (2016). *Informe de Tratamientos Avanzados en aguas residuales industriales. Conferderacion Empresarial de Madrid-CEOE vt. Madrid: CEIM Dirección General de Universidades e Investigación. Elece Industria Grafica*.
- Rodriguez, O., Peralta, J., Goonetilleke, A., & Bandala, E. (2017). Treatment Technologies for Emerging Contaminants in water. *Chemical Engineering Journal*, 361-380. doi:dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.106
- Romero, J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. (E.E.C.d, Ed.) *Ingeniería*.
- Rubio Clemente, A., Chica Arrieta, E. L., & Peñuela Mesa, G. A. (December de 2013). Wastewater treatment processes for the removal of emerging organic pollutants. *Revista Ambiente & Água*, 8(3). doi:http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1176

- Rubio-Clemente, A., Chioca, E., & Puñuela, G. (2014). Application of Fenton process for treating petrochemical wastewater. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 211-223.
- Ruiz, R. (2014). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales biodegradabilidad, toxicidad y ozonización. *Dialnet*.
- Sagasta, J. M., & Zadeh, S. M. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. *Food and agriculture organization of the united nations; Water land and ecosystems research program*.
- Sainz Sastre, J. A. (2005). Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. *Tecnologías para la sostenibilidad*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=255437>
- Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales en la industria textil. *Rev.Per.Quim.Ing.Quim*, 30-38.
- Salazar, P. A. (2016). CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS RESIDUALES Y DE RÍO Y FANGOS DE DEPURADORA. *Universitat Rovira i Virgili*, 51-240. Obtenido de <http://www.tdx.cat/handle/10803/334397>
- Sánchez Gómez, M., & Juan, O. V. (Enero de 2014). *Edulcorantes: Utilización y aprovechamiento en diferentes procesos de la Industria Alimentaria*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14818>
- Sanchez, S., Crespo, M. T., & Pereira, V. J. (2010). Drinking water treatment of priority pesticides using low pressure UV photolysis and advanced oxidation processes. *Water Research*, 44(6), 1809-1818. doi:10.1016/j.watres.2009.12.001
- Sanz García, M. Á. (Octubre de 2017). Contaminantes Emergentes y cadena alimentaria, productos farmacéuticos de cuidado personal y drogas de abuso. *Academia de la farmacia*. Obtenido de <https://www.academiadefarmaciadearagon.es/docs/Documentos/Documento98.pdf>

- Sanz García, M. Á. (2017). Contaminantes Emergentes y cadena alimentaria, productos farmacéuticos de cuidado personal y drogas de abuso. *Academia de la farmacia*.
- Sarkka, H., Bhatnagar, A., & Sillanpaa, M. (1 de October de 2015). Recent developments of electro-oxidation in water treatment — A review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 754, 46-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.06.016>
- Segura, S. G., D.Ocon, J., & Chong, M. N. (Enero de 2018). Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents. A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 48-67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.014>
- Semitsoglou-Tsiapou, S., Templeton, M. R., Graham, N. J., Leal, L. H., Martijn, B. J., Royce, A., & Kruithof, J. C. (15 de March de 2016). Low pressure UV/H₂O₂ treatment for the degradation of the pesticides metaldehyde, clopyralid and mecoprop - Kinetics and reaction product formation. *Water Res*, 94-285. doi:10.1016/j.watres.2016.01.017.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
- Starling, M. C., Santos, P. H., Souza, F. A., Oliveira, S. C., Leão, M., & Amorim, C. C. (August de 2017). Application of solar photo-Fenton toward toxicity removal and textile wastewater reuse. *Environmental Science and Pollution Research volume*, 97(1), 12515-12528.
- SVGW. (2014). Drinking Water. Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW. *Gewässerschutzverordnung (GSchV)*, 28.
- Swiss Federal Council. (2017). *Gewässerschutzverordnung (GSchV)*. 28.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. (2003). Treatment and Reuse . En *W. Engineering*.
- Tekniker. (2010). Memoria técnica justificada -Contaminantes emergentes en el agua: caracterización, degradación y monitorización.
- Torske, M. (2019). La realidad de las aguas servidas en Ecuador. *Yakunina-Asesoría en Agua y Permacultura*.

- Treviño, L. G., Marquez, H., Villada, M., Gonzalez, L., Guillén, R., & Hernández, A. (Septiembre de 2013). ATRAZINA: UN HERBICIDA POLÉMICO. *Int. Contam. Ambie.*, 64-84.
- Ugarte, P., Ramo, A., Bordes, M., Lorente, M., Zuriaga, E., Sanchez, E., . . . Menéndez, M. (2 de Junio de 2017). Biorreactores de membranas cerámicas para tratamiento de aguas. *Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón. Revista "Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 5.
- UNEP. (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. *United Nations Environment Programme*.
- UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. *Un Water*. Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- United Nations Environment Programme. (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment.
- Urosevic, T., & Trivunac, K. (2016). Logros en baja presión procesos de membrana microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) para tratamiento de aguas residuales y agua.
- USEPA. (2016). Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act.
- USGS. (2017). Artificial sweeteners as potential tracers in groundwater in urban environments. *Journal of Hydrology*. (V. Stempvoort, D. R. J. Roy, S. J. Brown, & G. Bickerton, Edits.) *Public supply Water Use*, 401(1-2), 126-133.
- Valcárcel, Y., Matévez, F., Segura, Y., Catalá, M., Molina, R., & Montero Rubio, J. (2 de February de 2012). Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin: heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation. *Environ Int*, 41. doi:10.1016/j.envint.2011.12.006
- Vargas, L., Estupiñan, P., & Rafael, A. (2016). Standardization methods to determine COD, BOD5 and TSS for the waters laboratory in, UNISANGIL, San Gil campus. *Revista Matices Tecnológicos*.

Vázquez, R. E. (2018). Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas. *Programa de Doctorado en agua y desarrollo sostenible. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/80430>

Zuccato, E., Castiglioni, S., & Chiabrando, C. (2008). Illicit drugs, a novel group of environmental contaminants. *Water Research*, 42(4-5), 961-968. doi:10.1016 / j.watres.2007.09.010

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agua contaminada: La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

Agua potable: Agua que es segura para beber y para cocinar.

Agua subterránea: Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

Agua superficial: Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

Aguas residuales: Aguas utilizadas en las viviendas, industria y agricultura que se canalizan en el alcantarillado junto con el agua de lluvia y la que discurre por las calles.

Antropogénico: Material o contaminante que resulta de la actividad humana. Los contaminantes antropogénicos son el resultado de vertidos o derrames, más que de sucesos naturales.

Balsas de activación: Tanques que reciben el efluente de los decantadores primarios para el tratamiento biológico aerobio en el proceso de fangos activos.

Cuerpo de agua: Acumulación de agua corriente o quieta, que en su conjunto forma la hidrosfera; son los charcos temporales, esteros manantiales, marismas, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos y cualquier otra acumulación.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días). Cantidad de oxígeno utilizado por una mezcla de población de microorganismos heterótrofos para oxidar compuestos orgánicos en la oscuridad a 20°C durante 5 días.

Desbaste: Sistema de rejas y tamices donde quedan retenidos los flotantes y residuos gruesos que arrastra consigo el agua "bruta" o influente en las estaciones regeneradoras.

Descarga: Vertido de agua residual o de líquidos contaminantes al medio ambiente durante un periodo determinado o permanente.

Digestión anaerobia: Tratamiento biológico anóxico del fango procedente de los decantadores secundarios y primarios previo a su secado y eliminación, y que se desarrolla con la producción de gas, fundamentalmente metano.

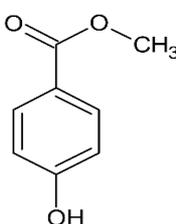
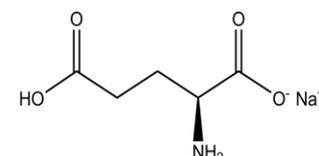
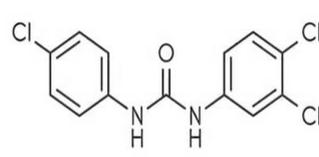
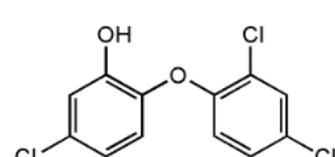
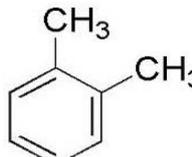
Efluente: Que fluya al exterior, descargado como desecho con o sin tratamiento previo.

Emisión: Descarga de contaminantes hacia la atmosfera.

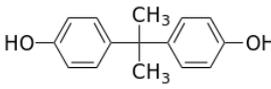
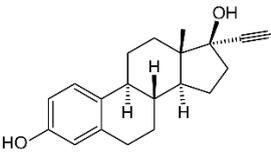
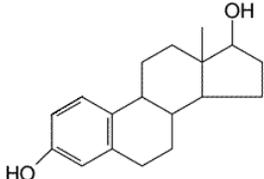
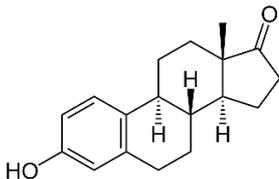
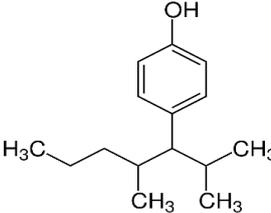
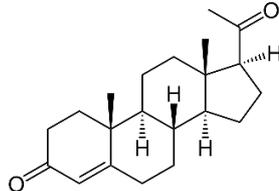
ERAR: Estación depuradoras de aguas residuales. Plantas de tratamiento de las aguas residuales.

ANEXOS

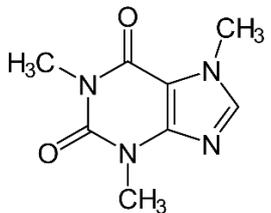
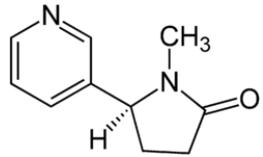
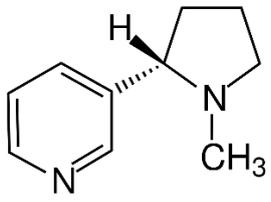
Anexo A. Estructuras químicas de los productos químicos de uso industrial

AGENTES INDUSTRIALES			
Compuesto	Metil-p-hidroxibenzoato	Compuesto	Glutamato monosódico
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	$C_8H_8O_3$	Fórmula molecular	$C_5H_8NNaO_4$
Peso molecular	152.15 g/mol	Peso molecular	169 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	2.5 g/L a 25°C	Solubilidad	740 g / L
pKa	8.17	pKa	2.10
Log Kow	15.74	Log Kow	----
Compuesto	Triclocarban	Compuesto	Triclosán
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	$C_{13}H_9Cl_3N_2O$	Fórmula molecular	$C_{12}H_7Cl_3O_2$
Peso molecular	315,58 g/mol -1	Peso molecular	289,5 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	0,11 mg/L a 20 ° C	Solubilidad	10 mg/L a 20 ° C
pKa	12,7	pKa	7.9
Log Kow	4.342 at 25 ° C	Log Kow	4.76
Compuesto	Hidroxibifenilo		
Estructura química			
Formula molecular	$C_6H_4(CH_3)_2$		
Peso molecular	106.16 g/mol		
Naturaleza	Hidrofóbico		
Solubilidad	---		
pKa	---		
Log Kow	2,73		

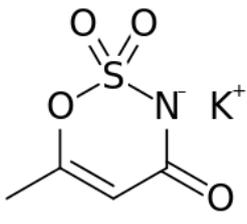
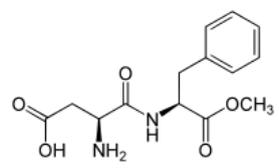
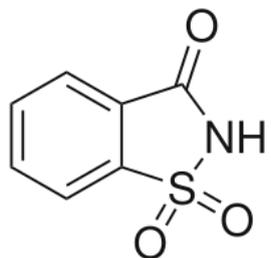
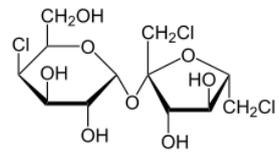
Anexo B. Estructuras químicas de los disruptores endocrinos

DISRUPTORES ENDOCRINOS			
Compuesto	Bisfenol A	Compuesto	17 ^a - etinilestradiol(EE2)
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	Formula molecular	C ₂₀ H ₂₄ O ₂
Peso molecular	228.29 g/mol	Peso molecular	296,403 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	120 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	11,3 mg / L a 27 ° C
pKa	9,6-10,2	pKa	10.33
Log Kow	3.32	Log Kow	3.67
Compuesto	Estriol	Compuesto	Estrona(E2)
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₈ H ₂₄ O ₃	Formula molecular	C ₁₈ H ₂₂ O ₂
Peso molecular	288,4 g / mol	Peso molecular	270,4 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	27,34 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	100cc a 25°C (0.0003g)
pKa	10,54	pKa	-5.4
Log Ko	2,45	Log Kow	2.46
Compuesto	Nonilfenoles polietoxilados	Compuesto	Progesterona
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₅ H ₂₄ O	Formula molecular	C ₂₁ H ₃₀ O ₂
Peso molecular	220.35 g/mol	Peso molecular	314,5 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	0.000006 kg/m ³	Solubilidad	8.81 mg / L a 25 ° C
pKa	10.7	pKa	18,92, -4,8
Log Kow	1,1.10-6 18	Log Kow	3,87

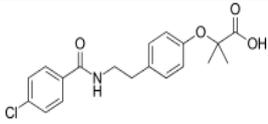
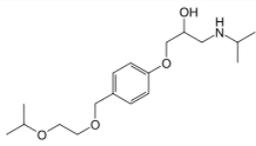
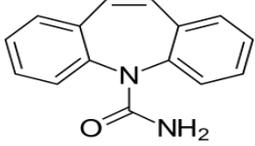
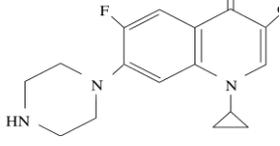
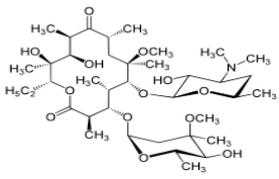
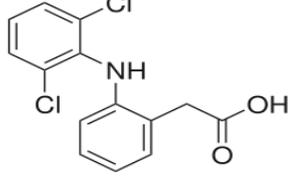
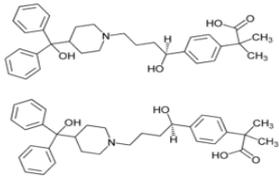
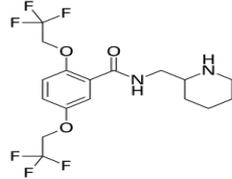
Anexo C. Estructuras químicas de las drogas ilícitas

DROGAS ILÍCITAS			
Compuesto	Cafeína	Compuesto	Cotinina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂	Formula molecular	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O
Peso molecular	194,19 g / mol	Peso molecular	176,21 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	2.16X10 + 4 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	1.0X10 + 6 mg / L a 25 ° C
pKa	14	pKa	8.0
Log Kow	0,07	Log Kow	0,07
Compuesto	Nicotina		
Estructura química			
Formula molecular	C ₁₀ H ₁₄ N ₂		
Peso molecular	162,23 g / mol		
Naturaleza	Hidrofílico		
Solubilidad	1X10 + 6 mg / L a 25 ° C		
pKa	8,5		
Log Kow	1,17		

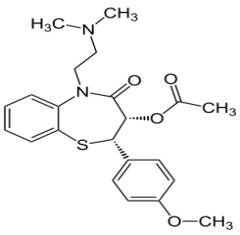
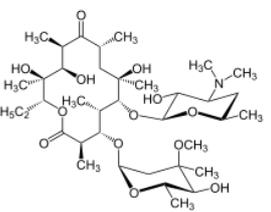
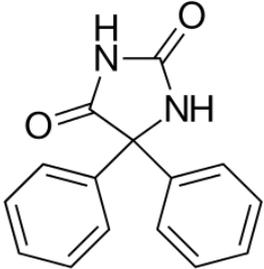
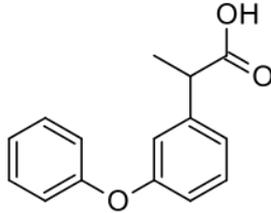
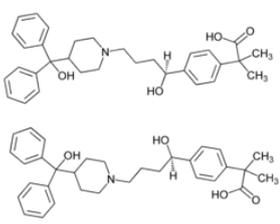
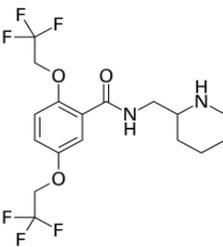
Anexo D. Estructuras químicas de los edulcorantes artificiales

EDULCORANTES ARTIFICIALES			
Compuesto	ACE-K	Compuesto	Aspartamo (ASP)
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₄ H ₄ KNO ₄ S	Formula molecular	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₅
Peso molecular	201.242 g/mol	Peso molecular	294,3 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	270 g / L a 20 ° C	Solubilidad	10,20 mg / mL
pKa	3.02	pKa	2,96
Log Kow	-1.33	Log Kow	0,07
Compuesto	Sacarina	Compuesto	Sucralosa (SUC)
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₇ H ₅ NO ₃ S	Formula molecular	C ₁₂ H ₁₉ Cl ₃ O ₈
Peso molecular	183,19 g / mol	Peso molecular	397.626 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	4000 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	12,9 g / L
pKa	1,31	pKa	11,91
Log Kow	0,91	Log Kow	-0.57 a 4.6

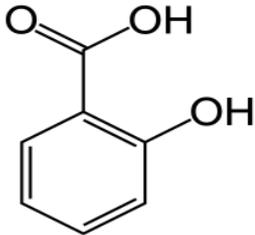
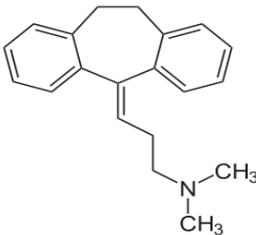
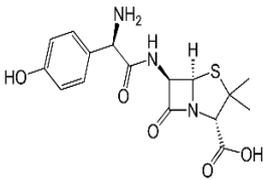
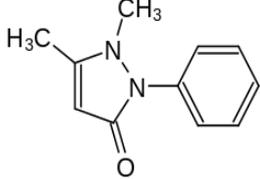
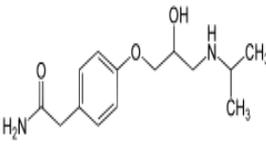
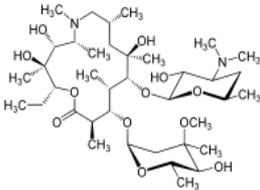
Anexo E. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Bezafibrato	Compuesto	Bisoprolol
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₉ H ₂₀ ClNO ₄	Formula molecular	C ₁₈ H ₃₁ NO ₄
Peso molecular	361,8 g / mol	Peso molecular	325.443 gr/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofilico
Solubilidad	1.55e-03 g/L	Solubilidad	2.24X10 +3mg /L a 25 ° C
pKa	3,83	pKa	9,5
Log Kow	3,2	Log Kow	1,87
Compuesto	Carbamazepina	Compuesto	Ciprofloxacino
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O	Formula molecular	C ₁₇ H ₁₈ FN ₃ O ₃
Peso molecular	236,27 g / mol	Peso molecular	331,34 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	18 mg/L at 25 ° C	Solubilidad	30.000 mg / L a 20 ° C
pKa	15.96, -3.8	pKa	6.09
Log Kow	2.45	Log Kow	0,28
Compuesto	Claritromicina	Compuesto	Diclofenaco
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₃₈ H ₆₉ NO ₁₃	Formula molecular	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ NO ₂
Peso molecular	748 g / mol	Peso molecular	296,1 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1,693 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	2,37 mg / L a 25 ° C
pKa	8,99 (a 25 ° C)	pKa	4.15
Log Kow	3,16	Log Kow	4,51
Compuesto	Fexofenadina	Compuesto	Flecainida
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₃₂ H ₃₉ NO ₄	Formula molecular	C ₁₇ H ₂₀ F ₆ N ₂ O ₃
Peso molecular	501.656 g/mol	Peso molecular	414,34 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofilico
Solubilidad	2.4X10-2 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	10 mg/ml
pKa	8,76	pKa	9.3
Log Kow	2,81	Log Kow	-----

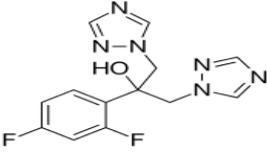
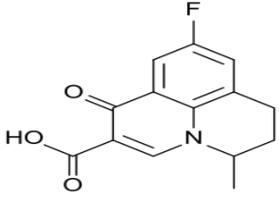
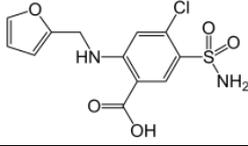
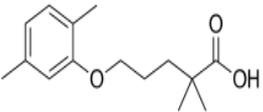
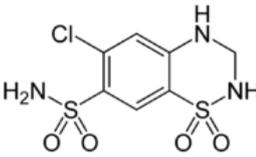
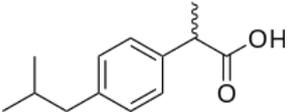
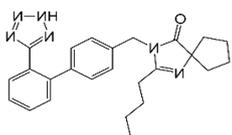
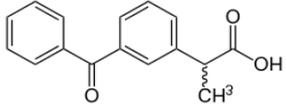
Anexo F. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Diltiazem	Compuesto	Eritromicina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₂₂ H ₂₆ N ₂ O ₄ S	Formula molecular	C ₃₇ H ₆₇ NO ₁₃
Peso molecular	414,5 g / mol	Peso molecular	733,9 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	465 mg / l @ 25 ° C	Solubilidad	4,2 mg / L a 25 ° C
pKa	8,06	pKa	8,9
Log Kow	2,70	Log Kow	3,06
Compuesto	Fenitoína	Compuesto	Fenoprofeno
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O ₂	Formula molecular	C ₁₅ H ₁₄ O ₃
Peso molecular	252,27 g / mol	Peso molecular	242,27 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	32 mg / L a 22 ° C	Solubilidad	----
pKa	8.33	pKa	4.5
Log Kow	2,47	Log Kow	-----
Compuesto	Fexofenadina	Compuesto	Flecainida
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₃₂ H ₃₉ NO ₄	Formula molecular	C ₁₇ H ₂₀ F ₆ N ₂ O ₃
Peso molecular	501.656 g/mol	Peso molecular	414,34 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	2.4X10-2 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	10 mg/ml
pKa	8,76	pKa	9.3
Log Kow	2,81	Log Kow	-----

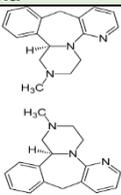
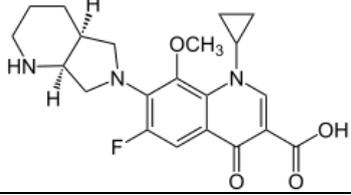
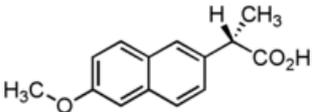
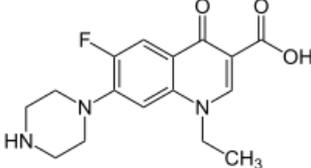
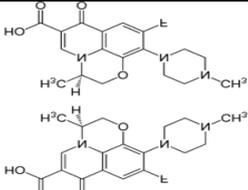
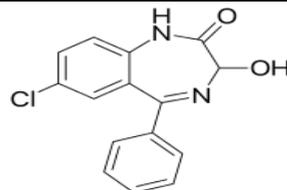
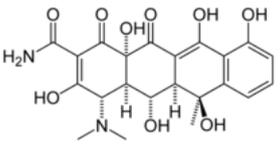
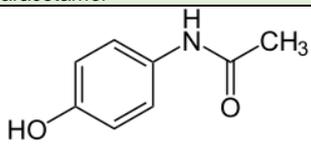
Anexo G. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Ácido salicílico	Compuesto	Amitriptilina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₇ H ₆ O ₃	Formula molecular	C ₂₀ H ₂₃ N
Peso molecular	138.121 g/mol	Peso molecular	277.4 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	g/100ml a 20°C: 0.2	Solubilidad	9,71 mg / L a 24 ° C
pKa	2.97	pKa	9.4
Log Kow	1,54	Log Kow	4,92
Compuesto	Amoxicilina	Compuesto	Antipirina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₆ H ₁₉ N ₃ O ₅ S	Formula molecular	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O
Peso molecular	365,4 g / mol	Peso molecular	188,23 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	3.43X10 + 3 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	25,2 [ug / mL]
pKa	3,2	pKa	1.4
Log Kow	0,87	Log Kow	4.77
Compuesto	Atenolol	Compuesto	Azitromicina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₄ H ₂₂ N ₂ O ₃	Formula molecular	C ₃₈ H ₇₂ N ₂ O ₁₂
Peso molecular	266,34 g / mol	Peso molecular	749 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1.33X10 + 4 mg / l 25 ° C	Solubilidad	2,37 mg / L a 25 ° C
pKa	9,6	pKa	8.5
Log Kow	0,16	Log Kow	4.02

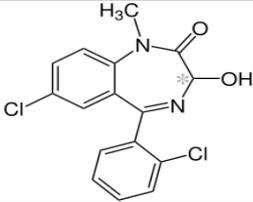
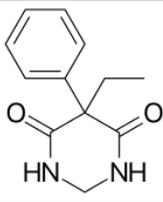
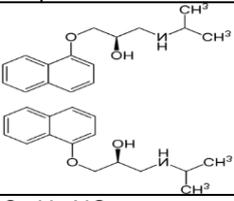
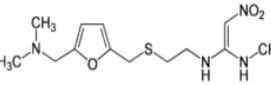
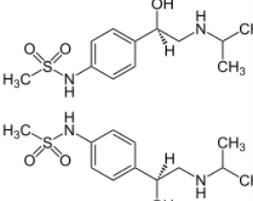
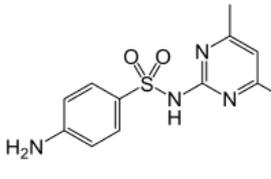
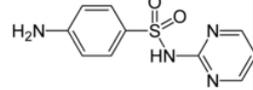
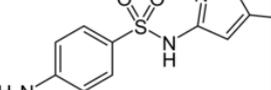
Anexo H. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Fluconazol	Compuesto	Flumequina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₃ H ₁₂ F ₂ N ₆ O	Formula molecular	C ₁₄ H ₁₂ FNO ₃
Peso molecular	306,27 g / mol	Peso molecular	261,25 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	4,363 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	2.19X10 + 3 mg /L 25 ° C
pKa	1,76	pKa	6,5
Log Kow	0,25 a 25 ° C	Log Kow	1,6
Compuesto	Furosemina	Compuesto	Gemfibrozil
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₂ H ₁₁ ClN ₂ O ₅ S	Formula molecular	C ₁₅ H ₂₂ O ₃
Peso molecular	330,74 g / mol	Peso molecular	250,33 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	73,1 mg / L a 30 ° C	Solubilidad	11 mg / L a 25 ° C
pKa	3,9	pKa	4,5
Log Kow	2,03	Log Kow	4,77
Compuesto	Hidroclorotiazida	Compuesto	Ibuprofeno
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₇ H ₈ ClN ₃ O ₄ S ₂	Formula molecular	C ₁₃ H ₁₈ O ₂
Peso molecular	297,7 g / mol	Peso molecular	206,28 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	722 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	21 mg / l a 25 ° C
pKa	7,9	pKa	5,3
Log Kow	-0,07	Log Kow	3,97
Compuesto	Irbesartan	Compuesto	Ketoprofeno
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₂₅ H ₂₈ N ₆ O	Formula molecular	C ₁₆ H ₁₄ O ₃
Peso molecular	428,5 g / mol	Peso molecular	254,28 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	5.9X10-2 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	51 mg / L (a 22 ° C)
pKa	4,08	pKa	4,45
Log Kow	5,31	Log Kow	3,2

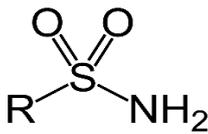
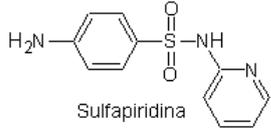
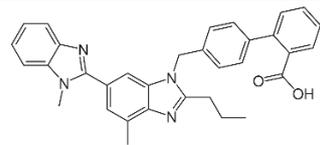
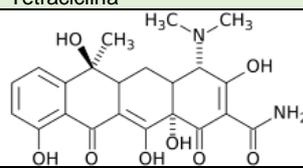
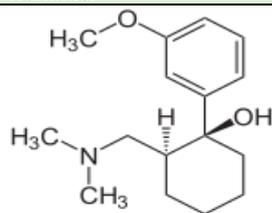
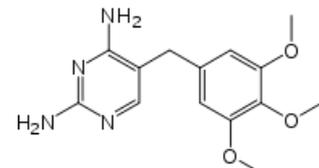
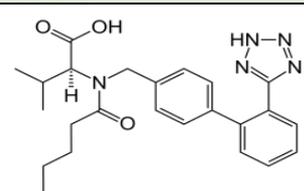
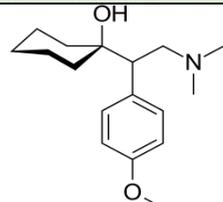
Anexo I. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Mirtazapina	Compuesto	Moxifloxacin
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₇ H ₁₉ N ₃	Formula molecular	C ₂₁ H ₂₄ FN ₃ O ₄
Peso molecular	265,35 g / mol	Peso molecular	401,4 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1.10e + 00 g / L	Solubilidad	1146 mg / L a 25 ° C
pKa	7.7	pKa	----
Log Kow	2.57	Log Kow	0,95
Compuesto	Naproxeno	Compuesto	Norfloxacin
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₄ H ₁₄ O ₃	Formula molecular	C ₁₆ H ₁₈ FN ₃ O ₃
Peso molecular	230,26 g / mol	Peso molecular	319,33 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	15,9 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	0,28 mg / mL a 25 ° C
pKa	4.15	pKa	6,34
Log Kow	3,18	Log Kow	0,46
Compuesto	Ofloxacina	Compuesto	Oxazepam
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₈ H ₂₀ N ₃ FO ₄	Formula molecular	C ₁₅ H ₁₁ N ₂ O ₂ Cl
Peso molecular	361,4 g / mol	Peso molecular	286,71 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1.08X10 + 4 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	0.02 g / L a 22 ° C
pKa	5,97	PKa	1,55
Log Kow	-0,39	Log Kow	2,24
Compuest	Oxitetraciclina	Compuesto	Paracetamol
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₂₂ H ₂₄ N ₂ O ₉	Formula molecular	C ₈ H ₉ NO ₂
Peso molecular	460,4 g / mol	Peso molecular	151,16 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	3.13X10 + 2 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	14.000 mg / L a 25 ° C
pKa	9.5	PKa	-4,4
Log Kow	-0,90	Log Kow	0,46

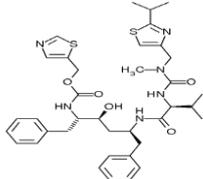
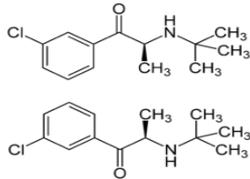
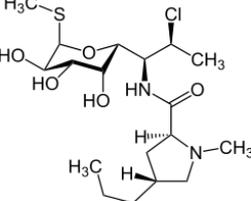
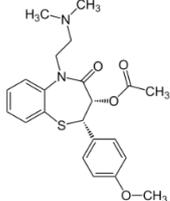
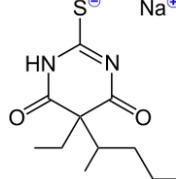
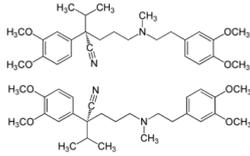
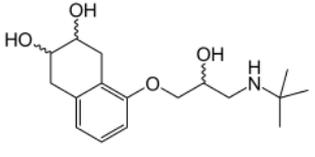
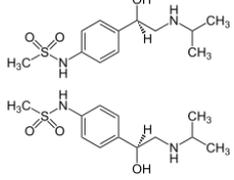
Anexo J. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACO			
Compuesto	Lorazepan	Compuesto	Primidona
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂	Formula molecular	C ₁₂ H ₁₄ N ₂ O ₂
Peso molecular	321,2 g / mol	Peso molecular	218,25 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	80 mg / L	Solubilidad	480 mg / L a 30 ° C
pKa	13	pKa	12,3
Log Kow	2,39	Log Kow	0,91
Compuesto	Propranolol	Compuesto	Raniditina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₆ H ₂₁ NO ₂	Formula molecular	C ₁₃ H ₂₂ N ₄ O ₃ S
Peso molecular	259,34 g / mol	Peso molecular	314,41 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	61,7 mg / L (a 25 ° C)	Solubilidad	-----
pKa	9,42	pKa	8,2
Log Kow	3,12	Log Kow	-----
Compuesto	Sotalol	Compuesto	Sulfametazina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₂ H ₂₀ N ₂ O ₃ S	Formula molecular	C ₁₂ H ₁₄ N ₄ O ₂ S
Peso molecular	272,37 g / mol	Peso molecular	278,33 g / mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofílico
Solubilidad	7.82e-01 g / L	Solubilidad	1,50X10 + 3 mg / L a 29 ° C
pKa	8,2	pKa	7,59
Log Kow	0,24	Log Kow	0,14
Compuesto	Sulfadiazina	Compuesto	Sulfametoxazol
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₀ H ₁₀ N ₄ O ₂ S	Formula molecular	C ₁₀ H ₁₁ N ₃ O ₃ S
Peso molecular	250,28 g/mol	Peso molecular	253,28 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbica	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	77 mg/L (a 25 °C)	Solubilidad	610 mg/L a 37 °C
pKa	6,36	pKa	0,89
Log Kow	-0,2	Log Kow	1,6

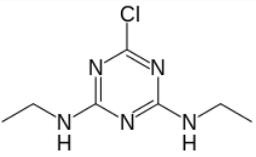
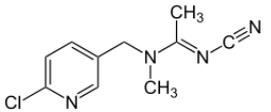
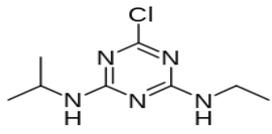
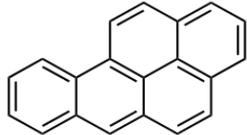
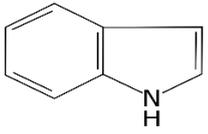
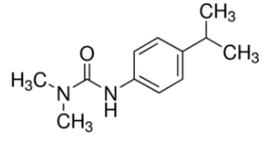
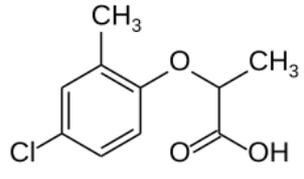
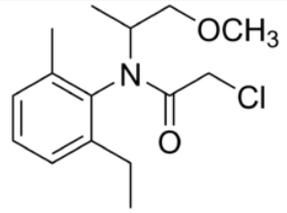
Anexo K. Estructuras químicas de los fármacos

FÁRMACOS			
Compuesto	Sulfonamida	Compuesto	Sulfapiridina
Estructura química		Estructura química	 Sulfapiridina
Formula molecular	RSO ₂ NH ₂	Formula molecular	C ₁₁ H ₁₁ N ₃ O ₂ S
Peso molecular	----	Peso molecular	249,29 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	----	Solubilidad	menos de 1 mg / mL a 72 ° F
pKa	10	pKa	8.43
Log Kow	----	Log Kow	0,9
Compues	Telmisartán	Compuesto	Tetraciclina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₃₃ H ₃₀ N ₄ O ₂	Formula molecular	C ₂₂ H ₂₄ N ₂ O ₈
Peso molecular	514.6 g/mol	Peso molecular	444,4 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	2.8X10-6 mgL a 25 ° C	Solubilidad	231 mg / la 25 ° C
pKa	3,86 ± 0,36	pKa	3.3
Log Kow	8.42	Log Kow	-1,37
Compuesto	Tramadol	Compuesto	Trimetoprina
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₆ H ₂₅ NO ₂	Formula molecular	C ₁₄ H ₁₈ N ₄ O ₃
Peso molecular	263,37 g / mol	Peso molecular	290,32 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1151 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	400 mg / l a 25 ° C
pKa	9.41	pKa	7.12
Log Kow	3,01	Log Kow	0,91
Compuesto	Valsartán	Compuesto	4-dimetilaminobenzoato de etilo
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₂₄ H ₂₉ N ₅ O ₃	Formula molecular	C ₁₇ H ₂₇ NO ₂
Peso molecular	435,5 g / mol	Peso molecular	277,4 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1.406 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	267 mg / L a 25 ° C
pKa	4,73	pKa	10.09
Log Kow	4,00	Log Kow	3,20

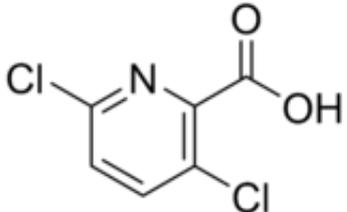
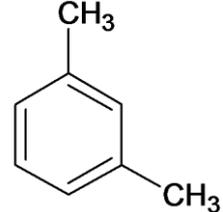
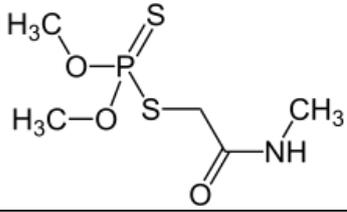
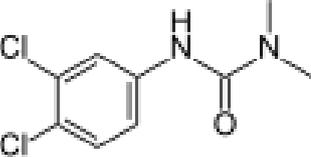
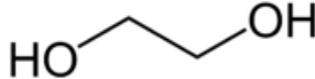
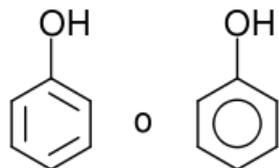
Anexo L. Estructuras químicas de los pesticidas

PESTICIDAS			
Compuesto	Ritonavir	Compuesto	Bupropión
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	C ₃₇ H ₄₈ N ₆ O ₅ S ₂	Fórmula molecular	C ₁₃ H ₁₈ ClNO
Peso molecular	720,9 g / mol	Peso molecular	239,74 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1.1X10 ⁻⁴ mg / L a 25 ° C	Solubilidad	140 mg / L a 25 ° C
pKa	2,84	pKa	8,22
Log Kow	6,27	Log Kow	3,85
Compuesto	Clindamicina	Compuesto	Diltiazem
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	C ₁₈ H ₃₃ ClN ₂ O ₅ S	Fórmula molecular	C ₂₂ H ₂₆ N ₂ O ₄ S
Peso molecular	425 g / mol	Peso molecular	414,5 g / mol
Naturaleza	Hidrofilico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	30,61 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	465 mg / l a 25 ° C
pKa	7,6	pKa	8,06
Log Kow	2,16	Log Kow	2,70
Compuesto	Tiopental sódico	Compuesto	Verapamilo
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	C ₁₁ H ₁₇ N ₂ NaO ₂ S	Fórmula molecular	C ₂₇ H ₃₈ N ₂ O ₄
Peso molecular	264,32 g/mol	Peso molecular	454,6 g/mol
Naturaleza	Hidrofilico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	----	Solubilidad	4,47 mg / L
pKa	7,6	pKa	8,92
Log Kow	2,85	Log Kow	3,79
Compuesto	Nadolol	Compuesto	Sotalol
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₇ H ₂₇ NO ₄	Formula molecular	C ₁₂ H ₂₀ N ₂ O ₃ S
Peso molecular	309,4 g / mol	Peso molecular	272,37 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofilico
Solubilidad	8330 mg / L (a 25 ° C)	Solubilidad	7.82e-01 g / L
pKa	9,67	pKa	8,2
Log Kow	0,71	Log Kow	0,24

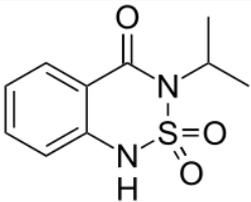
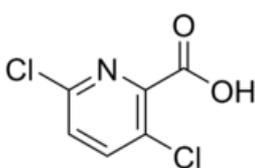
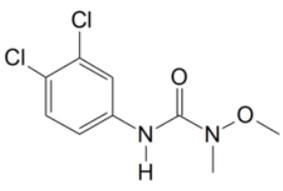
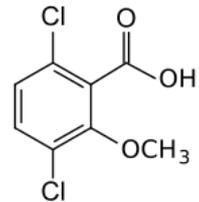
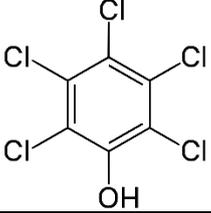
Anexo M. Estructuras químicas de los pesticidas

PESTICIDAS			
Compuesto	Simazine	Compuesto	Acetamiprid
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₇ H ₁₂ ClN ₅	Formula molecular	C ₁₀ H ₁₁ ClN ₄
Peso molecular	201,66 g / mol	Peso molecular	222,67 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	6,2 mg / L 20°C	Solubilidad	4.25X10 + 3mg /L25 ° C
pKa	1,62	pKa	0,7
Log Kow	2,18	Log Kow	0,80
Compuesto	Atrazina	Compuesto	Benzopireno
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	Formula molecular	C ₂₀ H ₁₂
Peso molecular	215,68 g / mol	Peso molecular	252,31 g/mol
Naturaleza	Hidrofílico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	33,0 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	0,1 g/100 ml
pKa	1.60	pKa	-----
Log Kow	2,61	Log Kow	6.35
Compuesto	Indol	Compuesto	Isoproturón
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₈ H ₇ N	Formula molecular	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O
Peso molecular	117.15 g/mol	Peso molecular	206.28 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	3560 mg / la 25 ° C	Solubilidad	65 mg / L a 22 ° C
pKa	-2,4	pKa	---
Log Kow	2,14	Log Kow	2,87
Compuesto	Mecoprop	Compuesto	Metolacloro
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₀ H ₁₁ ClO ₃	Formula molecular	C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂
Peso molecular	214,64 g / mol	Peso molecular	283,79 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	880 mg / L a 25 ° C	Solubilidad	530 mg /L a 20 ° C
pKa	3,78	pKa	-----
Log Kow	3,13	Log Kow	3,13

Anexo N. Estructura químicas de los pesticidas

PESTICIDAS			
Compuesto	Clopiralida	Compuesto	Dimetilbenceno
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	C ₆ H ₃ Cl ₂ NO ₂	Fórmula molecular	C ₈ H ₁₀
Peso molecular	192 g / mol	Peso molecular	106,16 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	1000 ppm a 25 ° C	Solubilidad	----
pKa	2,32	pKa	----
Log Kow	1,06	Log Kow	3,15
Compuesto	Dimetoato	Compuesto	Diurón
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₅ H ₁₂ NO ₃ PS ₂	Formula molecular	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O
Peso molecular	229,3 g / mol	Peso molecular	233.09 g/mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	23.8 g/L a 20 ° C	Solubilidad	37,4 mg / L a 25 ° C
pKa	2	pKa	4,1
Log Kow	0,78	Log Kow	2,68
Compuesto	Etilenglicol	Compuesto	Fenol
Estructura química		Estructura química	
Fórmula molecular	C ₂ H ₆ O ₂	Fórmula molecular	C ₆ H ₆ O
Peso molecular	62.07 g/mol	Peso molecular	94,11 g / mol
Naturaleza	Hidrofilico	Naturaleza	Hidrofilico
Solubilidad	100 mg / mL a 63.5 ° F	Solubilidad	1 g / 15 ml
pKa	15.1	pKa	9,99
Log Kow	-1,36	Log Kow	1,46

Anexo O. Estructuras químicas de los pesticidas

PESTICIDAS			
Compuesto	Bentazon	Compuesto	Clopiralida
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S	Formula molecular	C ₆ H ₃ Cl ₂ NO ₂
Peso molecular	240,28 g / mol	Peso molecular	192 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	500 mg/L a 20 °C	Solubilidad	7.85X10 + 3 mg / L
pKa	3,3	pKa	2,32
Log Kow	2,34	Log Kow	1,06
Compuesto	Linuron	Compuesto	Dicamba
Estructura química		Estructura química	
Formula molecular	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂	Formula molecular	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃
Peso molecular	249,09 g / mol	Peso molecular	221,03 g / mol
Naturaleza	Hidrofóbico	Naturaleza	Hidrofóbico
Solubilidad	75 mg/L a 25 °C	Solubilidad	4500 mg / L a 25 °C
pKa	12,13 ± 0,70	pKa	1,97
Log Kow	3,20	Log Kow	2,21
Compuesto	Pentaclorofenol		
Estructura química			
Formula molecular	C ₆ HCl ₅ O		
Peso molecular	266,3 g / mol		
Naturaleza	Hidrofóbico		
Solubilidad	14 mg / L a 25 °C		
pKa	4,70		
Log Kow	5,12		