

PROCESOS DESARROLLADOS COMO SISTEMAS GENERALES O
COMPLEMENTARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS
INDUSTRIAS FARMACÉUTICAS

DANIELA DEL PILAR TORRES CUBILLOS

UNIVERSIDAD PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA, CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA
2019

PROCESOS DESARROLLADOS COMO SISTEMAS GENERALES O
COMPLEMENTARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS
INDUSTRIAS FARMACÉUTICAS

DANIELA DEL PILAR TORRES CUBILLOS
Cod: 1022421907

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Director
MSc. Ing. Javier Augusto Vera Solano

UNIVERSIDAD PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA, CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA
2019

Dedicatoria

Gracias en primer lugar a Dios por su inmenso amor y su bondad infinita, por permitirme la vida mostrarme lo bella que es y que disfruto de ella cada día, por ser el fortalecedor de mis conocimientos para culminar esta etapa de mi vida, me permites sonreír ante mis logros que son resultados de tu ayuda. Gracias a ti este anhelo, esta meta está cumplida.

A mi madre Ruth Violet Cubillos Cuellar ejemplo de mujer y quien me llena de orgullo, gracias por absolutamente todo, por ti soy quien soy y he llegado hasta donde estoy, me inculcaste los valores éticos y morales para ser persona de bien, me enseñaste a ser valiente y no temer a las adversidades de la vida, te amo y no habrá manera de devolverte todo lo que me has ofrecido.

A mis hermanos Hernan David Torres Cubillos y Jorge Mario Correa Cubillos por su gran amor, apoyo incondicional, por confiar y creer en mí, por el esfuerzo y acompañamiento que me han brindado a lo largo de mi vida y de mi carrera porque me han ofrecido lo mejor y han buscado lo mejor para mi persona

A mi hermosa y valiente hija Isabelle Cristina Albarracin Torres quien es mi mayor motivo para salir adelante, es el motor de vida y la que le da sentido a mis días, tu amor y tu dulzura han sido los detonantes de mi felicidad, de mis esfuerzos, de mis ganas de seguir luchando en la vida para brindarte lo mejor. Te agradezco tu fortaleza a pesar de tu corta edad has sacrificado mucho por mí.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a la Universidad de Pamplona por abrirme las puertas de su academia para hacer uno de mis sueños realidad.

A mi director de tesis MSc. Ing. Javier Augusto Vera Solano por su dirección, dedicación, apoyo, paciencia, entrega, y consejos que me permitieron la culminación de éste trabajo.

A Julio Isaac Maldonado director del programa de Ingeniería Ambiental por su apoyo en la terminación de esta tesis.

Agradezco a mis amigas y compañeras de batallas Tatiana Diaz Maldonado, Fernanda Portilla, Emily Caicedo, Yajaira Rivero, Alexandra Maquines, por su buena y bonita amistad, por los años de luchas y sacrificios, por brindarme su apoyo en ciertos momento de mi vida y carrera, con ustedes Sembré una buena y sincera amistad, y muy probablemente el tiempo nos permitirá disfrutar de una agradable cosecha, una amistad ojalá de por vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a todos los docentes de mi carrera universitaria, que se tomaron el tiempo de abrir sus puertas y para compartir y aclarar sus conocimientos conmigo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS.....	13
CAPITULO 1. INDUSTRIAS FARMACEUTICAS	14
1.1 MEDICAMENTOS	15
1.2 FABRICACIÓN DE MEDICAMENTOS	15
1.3 MARKETING DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.....	16
CAPITULO 2. AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS FARMACÉUTICAS	20
2.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA	21
2.2 ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL POR VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.....	21
2.3 PRODUCTOS FARMACÉUTICOS COMUNES EN AGUAS RESIDUALES	22
CAPITULO 3 ALGUNOS TRATAMIENTOS DESARROLLADOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA	25
3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA	25
3.2 ESTUDIOS CON TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE FARMACOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES	27

CAPITULO 4 REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE la INDUSTRIA FARMACÉUTICA.....	31
4.1 GENERALIDADES DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO.....	32
4.2 PRINCIPIOS DE FLUIDIZACION	32
4.3 DISEÑO DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO	36
4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS LECHOS FLUIDIZADOS.....	38
4.5 LECHO FLUIDIZADO COMO REACTOR PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA: REVISIÓN.....	43
CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Fases de la fabricación de medicamentos.....	16
Figura 2. Regímenes de fluidización debido al aumento en la velocidad del fluido ascendente a través del lecho.....	32
Figura 3. Descripción de los regímenes de fluidización.	33
Figura 4. Esquema reactor de lecho fluidizado de tres fases.	35
Figura 5 Ventajas y Desventajas de los Lechos Fluidizados	38
Figura 6 Características de los reactores de lecho fluidizado	40

LISTA DE IMÁGENES

	Pag.
Imagen 1. Gasto Global De Medicamentos	19
Imagen 2. Tipos y Costos de Reactores de lecho fluidizado.....	40

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Mercado Mundial de Medicamentos en el Año 2011	17
Tabla 2. Productos Farmacéuticos Comunes Encontrados En Algunos Países En Sus Agua Residuales	23
Tabla 3. Estudios con tratamientos para eliminación o degradación de algunos productos farmacéuticos comunes en aguas residuales.	27
Tabla 4. Parametros de Diseño mas Relevantes para el Reactor de Lecho Fluidizado.	36
Tabla 5 Cuadro Comparativo de los Reactores Biológicos para el Tratamiento de Aguas Residuales.	41
Tabla 6 Estudios con Lecho Fluidizado como Reactor para el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Industria Farmacéutica.	43

RESUMEN

La detección constante de productos farmacéuticos en el medio ambiente acuático demuestra la ineficiencia de las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales para eliminar por completo estos contaminantes. El siguiente trabajo presenta una comparación de los diferentes procesos desarrollados como sistemas generales o complementarios para el tratamiento de aguas residuales de las industrias farmacéuticas. Para esto, se recolectó información bibliográfica nacional e internacional sobre estudios con la implementación de tratamientos dirigidos a la eliminación de fármacos de las aguas residuales, se organizó la información recuperada para la redacción efectiva y concluyente del trabajo. Además, se categorizaron los diferentes tratamientos para aguas residuales de las industrias farmacéuticas de acuerdo con sus porcentajes de remoción. Se conocieron los impactos generados sobre el medio acuático ocasionados por los vertidos de dicha industria. Por último, se relacionó el reactor de lecho fluidizado como sistema complementario en la remoción de fármacos de las aguas residuales, el cual se propone como un tratamiento biológico de fácil acceso para las industrias farmacéuticas. Se encontró en la mayoría de los estudios, que los métodos convencionales de tratamiento de agua potable son relativamente ineficientes para la eliminación de contaminantes, mientras que la eliminación eficiente del 99% se logra mediante carbón activado granular o productos similares en los reactores de membrana o en los reactores de lecho fluidizado de 2 y 3 etapas.

Palabras Clave: Reactor de Lecho Fluidizado, Farmacéuticos, Tratamiento Biológico, Carbón Activo Granular.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Venegas Loaiza (2018), el informe “Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado”, presentado a finales de 2017 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), concluyo que solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) cuentan con algún tipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En otras palabras, en Colombia, a pesar de los logros de los últimos años, solo 48,2% del total de municipios cuentan con PTAR. Sin embargo, el informe también expresa que las PTAR son solamente uno de los diferentes sistemas de tratamiento de saneamiento del agua y el cual es el más utilizado en Colombia. Pero, para los casos de los departamentos y municipios que carecen de infraestructura de tratamiento de agua residual, es la autoridad ambiental nacional o regional o local, la encargada de definir los esquemas de tratamiento en función de instrumentos como los planes de saneamiento y el manejo de vertimientos.

Por otra parte, existe diferentes orígenes de los cuales proceden las aguas residuales, como los son las domesticas (origen de zonas residenciales dentro del casco urbano), industriales (origen de zonas industriales o comerciales como fábricas y/o similares), urbanas (origen homogéneo de la combinación doméstica, industrial y de corriente pluvial). De ahí, que se delimiten su origen como es el caso particular de las aguas industriales procedentes de las industrias farmacéuticas o clasificadas como estas por presentar grandes concentraciones de fármacos de origen medicinal. Por lo anterior, científicos y ambientalistas encaminaron nuevas investigaciones debido a la preocupación que se presentaba sobre los ecosistemas acuáticos, ya que se comenzaron a presentar rastros de los principales compuestos farmacéuticos consumidos por los ciudadanos sobre este

recurso, siendo los antibióticos los más frecuentes. Según Correa (2018), lo anterior implicaba un peligro potencial sobre el medio ambiente, pues los microorganismos acuáticos podían desarrollar resistencia desencadenando futuras epidemias. Por lo cual, es difícil establecer para un ingeniero, un sistema de tratamiento general para estas aguas pues, el grado de eliminación de un producto farmacéutico cualquiera varía con muchos factores, incluyendo la naturaleza química y la concentración influyente del producto farmacéutico, la presencia de otros productos farmacéuticos y sus metabolitos, la matriz orgánica de fondo (microorganismos) y el tipo de proceso de tratamiento utilizado. Además, un ingeniero también se enfrenta a las demandas de los órganos de gobierno y el público para abordar el tema cada vez más emotivo de los "nuevos contaminantes" en sus procesos de tratamiento de aguas residuales, la amplia variación en los resultados de eliminación y/o degradación de diferentes productos farmacéuticos puede potencialmente ser real pero, las dificultades para decidir si es el adecuado y como deberían eliminarse de sus aguas residuales es el mayor obstáculo.

Por todo lo anteriormente mencionado, este trabajo presenta una compilación de una gran variedad de investigaciones nacionales e internacionales, en las cuales se desarrollaron diferentes sistemas de tratamientos de aguas residuales para la industria farmacéutica. En este sentido, el trabajo se divide en 4 capítulos. El primero reúne conceptos generales sobre las industrias farmacéuticas, el segundo describe los conceptos encontrados sobre las aguas residuales de las industrias farmacéuticas, el tercero es una compilación y comparación de los diferentes sistemas de tratamiento para las aguas residuales de industrias farmacéuticas resaltando los porcentajes de remoción y el tipo de fármaco removido y el cuarto es una propuesta de un lecho fluidizado como sistema de tratamiento de etapa tres para el tratamiento de aguas residuales industriales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar los diferentes procesos desarrollados como sistemas generales o complementarios para el tratamiento de aguas residuales de las industrias farmacéuticas.

Objetivos específicos

Recolectar información bibliográfica nacional e internacional sobre estudios con la implementación de tratamientos dirigidos a la eliminación de fármacos de las aguas residuales.

Organizar la información recuperada sobre los tratamientos de aguas residuales de las industrias farmacéuticas para la redacción efectiva y concluyente del trabajo.

Categorizar los diferentes tratamientos para aguas residuales de las industrias farmacéuticas de acuerdo con sus porcentajes de remoción.

Relacionar el lecho fluidizado como sistema complementario en la remoción de fármacos de las aguas residuales.

CAPITULO 1. INDUSTRIAS FARMACEUTICAS

De acuerdo con Ramos Alvariño, Espinosa Lloréns, López Torres, & Pellón Arrechea (2005), la industria de fabricación de medicamentos se considera a menudo como consistente en un conjunto de tipos genéricos de operaciones diferentes. Esta industria se presenta con mayor desarrollo en el llamado primer mundo, de ahí, que sean principalmente monopolios quienes la dominen. Así mismo, debido a la mutación genética que sufren las diferentes enfermedades la industria se ve forzada a la creación cada vez mayor de sustancias necesarias para la extracción de las mismas a partir de nuevas concentraciones con materiales naturales, o de procesos sintéticos. En consecuencia, según Ramos Alvariño et al (2005) su descarga al medio ambiente, intencional o no, puede causar serias consecuencias. Cuando se generan y manejan grandes cantidades de estos productos que no existían en la naturaleza, se plantean grandes problemas, en especial, cuando no se cuenta con procesos físicos y biológicos conocidos que puedan degradarlos hasta convertirlos en forma inocua. Por otra parte, Guillermina Volonté & Quiroga (2013) afirman que los principales tipos de contaminantes característicos de la industria farmacéutica son a) Contaminación por partículas, polvo o suciedad, b) Contaminación por mezcla errónea de componentes, como parte de la fórmula farmacéutica, y c) Contaminación por microorganismos. Pero el problema central de estos contaminantes es la variedad en la composición y concentración de los residuos.

1.1 MEDICAMENTOS

Según Escoto Salinas (2009), los medicamentos son aquellas sustancias químicas que se utilizan para prevenir o modificar estados patológicos o explorar estados fisiológicos, para beneficios de quien los recibe. Así mismo, ECURED, (2019) afirma que es una sustancia química purificada utilizada en la prevención, diagnóstico, tratamiento, mitigación y cura de una enfermedad y, que también se por una influencia anglosajona se utiliza en muchos textos médicos la palabra droga, asumiendo el concepto de droga como cualquier sustancia activa que ocasiona un cambio en la acción biológica del organismo, a través de sus acciones químicas, modificando la actividad celular.

1.2 FABRICACIÓN DE MEDICAMENTOS

De acuerdo CINFASALUD (2015), los medicamentos requieren de un proceso de desarrollo, fabricación y acondicionamiento complejo, que implica aún un mayor nivel de dificultad en el caso, por ejemplo, de determinados medicamentos de alta especialización como los utilizados en áreas de oncología y trasplantes. De esta manera, el proceso de fabricación general de un medicamento se divide en 7 fases como se muestra en la figura 1.

Figura 1. *Fases de la fabricación de medicamentos*



Fuente: CINFASALUD (2015)

1.3 MARKETING DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

Para De Anca-Escudero (2013), el mercado farmacéutico se ha convertido en un espacio global y con mínimas diferencias entre países, aspecto que ha evolucionado en los últimos años. Además, según De Anca-Escudero (2013) afirma que la industria farmacéutica surgió a partir de toda una serie de actividades relacionadas con la obtención de sustancias utilizadas en la medicina. Así, para El siglo XIX alumbraron importantes avances en los procesos de síntesis química. El primer fármaco sintético fue la acetofenidina, comercializada en 1885 como analgésico por Bayer con la marca de Phenacetin. El segundo fármaco sintético importante fue el ácido acetil salicílico (1897), comercializado con el nombre de Aspirina, también por Bayer. Para comienzos del siglo

XXI se han desarrollado, fruto de la investigación farmacéutica, miles de nuevos fármacos que han supuesto una verdadera revolución en la práctica de la medicina. En paralelo se ha desarrollado un gran mercado farmacéutico y una potente industria que investiga, desarrolla, fabrica y comercializa nuevos y cada vez más sofisticados medicamentos (De Anca-Escudero, 2013).

Por otra parte, de acuerdo con las estadísticas médicas intercontinentales, conocida por sus siglas en inglés IMS Health (2012), citada por De Anca-Escudero (2013) en el mercado mundial las ventas farmacéuticas siguen muy polarizadas hacia los países más desarrollados. La suma de las ventas de los mercados de Norteamérica (EE.UU. y Canadá), Europa y Japón alcanzaron en 2011 el 76% del total (aunque en 2012 este porcentaje fue del 79%). Un hecho muy destacable en 2011 ha sido la confirmación del fuerte crecimiento en ventas (superior al 10%) que experimentaron mercados emergentes como China, India, Brasil, Corea del Sur, Méjico, Rusia o Turquía. Este grupo de países contribuye con un 25% al crecimiento mundial del mercado. De esta manera, la Tabla 1 expresa el estado del mercadeo mundial de medicamentos, los países con mayor consumo y una posible rata de crecimiento.

En sentido, de acuerdo con De Anca-Escudero (2013) para el siglo XXI se esperan grandes avances en la prevención y el tratamiento de las enfermedades basados en el desarrollo de la bioquímica, biología molecular, inmunología, genética molecular e informática.

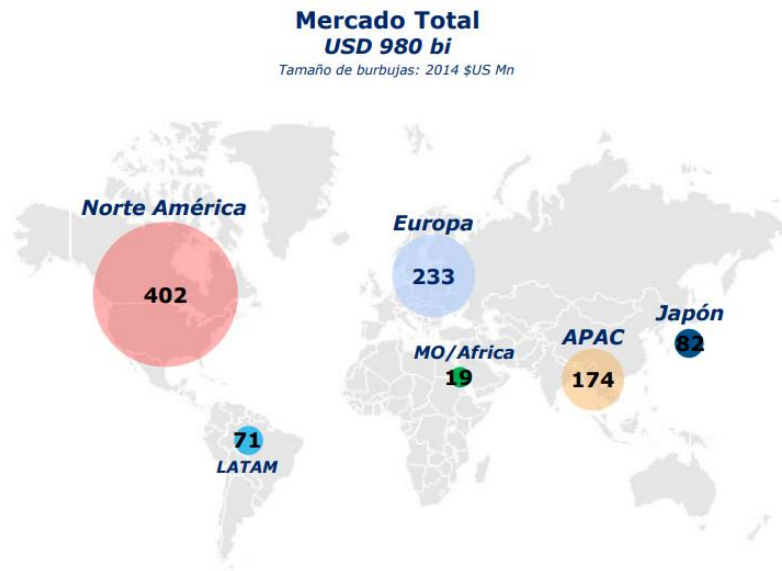
Tabla 1. *Mercado Mundial de Medicamentos en el Año 2011*

Mercado mundial	Ventas 2011 miles mm \$	Ventas totales	+/- % Crecimiento
Norteamérica	346	37	3
Europa	255	27	2,4
Japón	115	12	5,6
Asia + África + Oceanía	163	17	13,1
América latina	63	7	8,9
Total final	942	100	5,1
(Auditadas + No auditadas)			

Nota: De acuerdo con De Anca-Escudero (2013), se estima que en el futuro (2020), el mercado mundial llegará a 1,3 billones de dólares. Este desarrollo será debido al aumento en la demanda de fármacos y de tratamientos preventivos. Además, la población crecerá a más de siete mil millones de habitantes. Una quinta parte del mercado se concentrará en el grupo de los mayores países emergentes como Brasil, China, India, Indonesia, Méjico, Rusia y Turquía. *Fuente:* Adaptado de IMS 2012 (en Dólares USA constantes), tomado de De Anca-Escudero (2013).

Lo anterior, se confirma con el estudio más reciente realizado por IMS en el año 2014. En el cual, el gasto global en medicamentos está concentrado en América del Norte y Europa quienes representan el 65% del total (Ver Imagen 1).

Imagen 1. Gasto Global De Medicamentos



Fuente: Market prognosis 2015-2019, tomado de Santa María, (2015)

Como se observa los países Latinoamericanos (LATAM) ocupan solo el tercer lugar con USD \$71 bn (billones de dolares). En sentido, de acuerdo con Santa María, 2015 Colombia ocupa el quinto (5°) lugar seguido de Brasil, Venezuela, Mexico y Argentina quienes ocupan los primero 4 lugares respectivamente. Así mismo, se mostraron que las ventas para Colombia en el año 2014 fue de USD \$2.0 con un crecimiento del 2013 a 2014 de 4,2% y quienes además al realizar una proyección estiman que para los próximos 10 años a partir del 2014 la tasa de crecimiento en ventas será de 7,6%.

Para terminar, algunas de las compañías con mayor presión en las negociaciones de los medicamentos a nivel mundial son: Alliance Boots/Walgreens, McKesson/Celesio, Amerisource Bergen, CVS, Cardinal Health, FEMSA y Grupo Ultra.

CAPITULO 2. AGUAS RESIDUALES DE LAS

INDUSTRIAS FARMACÉUTICAS

En los últimos años, el rápido crecimiento de la población mundial y el desarrollo industrial ha dado como resultado una mayor demanda de nuevos productos y, en consecuencia, grandes cantidades de aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos como productos farmacéuticos, pesticidas y colorantes generados por diferentes industrias (Zolfaghari, Shojaat, Karimi, & Saadatjoo, 2018). Para el caso particular de las aguas residuales procedentes de las industrias farmaceuticas, “El monitoreo reciente de los residuos de medicamentos en el medio ambiente acuático ha despertado mucho interés ya que con frecuencia se pueden encontrar muchos compuestos farmacéuticos en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) y el agua del río a concentraciones de hasta varios $\mu\text{g} / \text{l}$.” (Hirsch, Ternes, Haberer, & Kratz, 1999).

2.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

Según SPENA GROUP (2019), las aguas residuales en la industria farmacéutica se caracterizan por presentar una enorme variación en cuanto a su caudal y su composición, sus parámetros dependen de factores como el régimen de la producción, la elaboración concreta que se esté llevando a cabo, se da cuando las actividades son las generadas de las aguas residuales. No todos los productos farmacéuticos son removidos lo suficiente con los sistemas actuales de tratamiento, por lo que pueden estar presente en la planta de tratamiento, si no en distintos cuerpos de agua, e incluso en el agua potable a muy bajas concentraciones. Así mismo, de acuerdo con Condorchem Envitech (2019), las aguas residuales de las industrias farmaceuticas generalmente contienen a) Un elevado contenido de materia orgánica, de la cual una gran fracción es materia orgánica fácilmente biodegradable (alcoholes, acetonas, etc.), b) Compuestos orgánicos lentamente biodegradables y sustancias refractarias (compuestos aromáticos, hidrocarburos clorados, etc.), c) Compuestos inhibidores y tóxicos (antibióticos) y d) Jabones y detergentes con tensioactivos.

2.2 ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL POR VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

La Organizacion Mundial de la Salud- OMS (2019), ha desarrollado mejoras en la sensibilidad de los métodos analíticos para la medición de esos productos químicos en concentraciones muy bajas, permitieron a algunos estudios encontrar concentraciones de trazas

de productos farmacéuticos en aguas residuales, fuentes de agua y aguas potables. Por lo general, las concentraciones en aguas superficiales, subterráneas y parcialmente tratadas eran inferiores a 0.1 $\mu\text{g/l}$ (100 ng/l), mientras que en el agua tratada eran inferiores a 0.05 $\mu\text{g/l}$ (50 ng/l). Además, enfatizan que los productos farmacéuticos están presentes, aunque en concentraciones mínimas, en muchas fuentes de agua que reciben efluentes de aguas residuales. De manera análoga, la OMS (2019) afirma que los factores determinantes son los productos farmacéuticos recetados, utilizados o fabricados en la zona, así como el tamaño de la población en la cuenca de captación. La presencia y la concentración de productos farmacéuticos en las fuentes de agua receptoras, que son la vía principal hacia el agua potable, dependen de la dilución, la atenuación natural y el tipo de tratamiento de aguas residuales aplicado. Además, la apariencia de los productos farmacéuticos específicos en una fuente de agua puede variar de un lugar a otro en función del tipo de productos farmacéuticos y la magnitud de la descarga en las masas de agua.

2.3 PRODUCTOS FARMACÉUTICOS COMUNES EN AGUAS RESIDUALES

Los niveles ambientales detectables que se han reportado para muchos productos farmacéuticos humanos surgen en gran parte de su excreción o eliminación en aguas residuales donde pueden someterse a varios niveles de tratamiento que conducen a su descomposición y/o degradación antes de que cualquier contenido farmacéutico restante sea descargado en el entorno receptor Peake, Braund, Tong, & Tremb (2015). La Tabla 1 muestra algunos productos farmacéuticos más comunes encontrados en países en las aguas residuales de los mismos.

Tabla 2. *Productos Farmacéuticos Comunes Encontrados En Algunos Países En Sus Agua Residuales*

Producto farmaceutico	Países
Acetaminofén (Paracetamol)	Corea del Sur, España, Taiwán, Reino Unido.
Aspirin (Acido acetilsalicilico)	Australia, Alemania, Japón.
Diclofenaco	Australia, Brasil, Canadá, Finlandia, Alemania, Grecia, Luxemburgo, Corea del Sur, España, Suecia, Suiza, Taiwán, Reino Unido, Estados Unidos.
Ibuprofeno	Brasil, Canadá, Alemania, Finlandia, Italia, Japon, Luxembourg, Nueva Zelanda, Corea del Sur, Suecia, Suiza, Taiwán, Reino Unido, Estados Unidos.
Atenolol	Canadá, Italia, España, Taiwán.
Metropolol	Canadá, Finlandia, Alemania, España, Taiwán.
Amoxicilina	Australia, India, Italia.
Eritromicina	China, Hong Kong, Corea del Sur, España, Suiza, Taiwán,
Sulfametoxazol	Australia, China, Luxembourg, Corea del Sur, Suiza, Taiwán, España, Suecia, Estados Unidos.
Estrona	Brasil, Canadá, Iran, Italia, Japon, Luxemburgo.
Estradiol (17-β – B2)	Brasil, Canadá, Iran, Japon, Luxemburgo, Suecia.
Etiniliestradiol (17α – EE2)	Brasil, Iran Luxemburgo.

Osetalmivir	Alemania, Japón, Noruega.
Fluoxetina	Canadá, Noruega, España, Suecia, Estados Unidos.

Nota. Los únicos países encontrados de América son Brasil y Estados Unidos. Fuente: Modificado de Peake, Braund, Tong, & Tremb (2015).

CAPITULO 3 ALGUNOS TRATAMIENTOS DESARROLLADOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

De acuerdo con Ternes (1998), citado por Peake et al (2015), a raíz de uno de los primeros informes (Ternes, 1998) de la detección de 32 residuos de medicamentos de una amplia gama de diferentes clases de productos farmacéuticos humanos en el efluente de una selección de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales alemanas, ha habido una multitud de informes sobre la eficiencia de eliminación de estos productos farmacéuticos que utilizan muchos procesos de tratamiento diferentes, ya sea como plantas operativas a gran escala, plantas piloto o incluso en escalas más pequeñas en el laboratorio. Clasificar todos los factores que hacen a la traza del fármaco más resistente al tratamiento disponible se considera una tarea difícil de efectuar por lo que, Kravitz & Bell, 2013 resumieron algunas tendencias de tratamientos implementadas para la eliminación/degradación de fármacos en las aguas residuales.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

De acuerdo con Peake et al (2015), los tratamientos para las aguas residuales de las industrias farmacéuticas se pueden clasificar en convencionales (es decir, sedimentación primaria y lodo activado secundario) los cuales pueden eliminar/degradar hasta el 90% o más de los productos farmacéuticos que se producen con mucha frecuencia en aguas residuales domésticas que incluyen paracetamol (acetaminofenol), aspirina, ácido salicílico, ibuprofeno, estrona, 17 β -estradiol y fluoxetina. Sin embargo, las excepciones notables que generalmente se consideran recalcitrantes al tratamiento convencional de aguas residuales incluyen diclofenaco, bloqueadores β como metoprolol y oseltamivir. Para eliminar una proporción significativa de estos últimos productos farmacéuticos presentes en el efluente derivado del tratamiento convencional, a menudo se puede usar uno o más de los muchos procesos terciarios diferentes, como la nanofiltración, la microfiltración y la osmosis reversa, y los procesos de oxidación avanzada como la ozonización y la irradiación fotoquímica. Sin embargo, Peake et al (2015) afirma que existe una amplia gama de tratamientos que están disponibles para ayudar en la eliminación / degradación del gran conjunto de productos farmacéuticos humanos que se han detectado en las aguas residuales. Estos procesos pueden ser ampliamente clasificados en términos de un grado creciente (y, por lo tanto, de costo) de tratamiento fisicoquímico y biológico: primario que implica principalmente la eliminación de sólidos por coagulación, floculación y sedimentación; secundario que implica degradación biológica en presencia de lodo activado, filtros y membranas; y terciario que involucra métodos físicos que usan filtros más finos, adsorción con carbon activo, osmosis reversa y métodos químicos tales como oxidación avanzada que involucra ozonización y fotólisis.

3.2 ESTUDIOS CON TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE FARMACOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES

Tabla 3. *Estudios con tratamientos para eliminación o degradación de algunos productos farmacéuticos comunes en aguas residuales.*

Autores	Farmacéutico	Tipo de Tratamiento	% Remoción
Han , Hur, & Kim (2006)	Acetaminofén, Diclofenaco, Ibuprofeno	2x(Clarificación + Aireación)	8.7, 24, 78
Kim, Cho, Kim, Snyder, & Vanderford (2007)	Acetaminofén, Diclofenaco, Ibuprofeno, Eritromicina, Sulfametoxazol, Trimetoprima	Biorreactor de Membrana, Osmosis reversa, Nanofiltración, Radiación Ultravioleta.	>99, -120 ₁ , >99, 9, 64- 70, -33 a 47 ₂
Choi, Kim, Parque, Parque , & Kim (2008)	Acetaminofén	No especificado	>99
Yan et al (2014)	21 Compuestos farmacéuticamente activos (PHAC)	No especificado	-99,5

<p>Radenović, Petrović , & Barceló (2009)</p>	<p>Acetaminofén, Diclofenaco, Ibuprofeno, Atenolol, Metoprolol, Eritromicina, Sulfametoxazol, Trimetoprina, Fluoxetina</p>	<p>Biorreactor de membrana con láminas planas</p> <p>Biorreactor de membrana con láminas planas con fibra hueca</p>	<p>>99, 66, >99, 77, 44, 43, 74, 67, 98</p>
<p>González , Petrovic , & Barceló (2007)</p>	<p>Etoxilatos de alquifenol (APEO), Alquibencenosulfonatos lineales (LAS) y Amidas de dietanol de coco (CDEA)</p>	<p>Biorreactor de Membrana</p>	<p>87, 96, 94</p>
<p>Choi et al (2012)</p>	<p>Ibuprofeno, Bezafibrato,</p>	<p>Biorreactor de membrana, Oxidación de ozono</p>	<p>95, 70,</p>
<p>De Wever , Van Roy , Dotremont, Miller, & Knepper (2004)</p>	<p>Alquibenceno sulfonatos</p>	<p>Biorreactor de membrana, lodo activado convencional</p>	<p>97</p>

Clara et al (2005)	Bisfenol-A, Ibuprofeno analgésico o el Bezafibrato	Biorreactor de membrana	>90
Smook , Zho , & Zytner (2008)	Ibuprofeno	Biorreactor de membrana	>95
Paxéus (2004)	Antiinflamatorios no esteroideos (aine), Gemfibrozilo, Carbamazepina, Betabloqueantes, Trimetoprima y Triclosán	Lodo activado convencional	<10, >95, >90, <60, 36, 80
Norihide , Toshikatsu , Hiroyuki , Kentaro , & Hideshige (2006)	Analgésicos ácidos o antiinflamatorios, Antisépticos fenólicos, Farmacéuticos de amida, Fenoltoluacrida, Dietiltoluamida, Dietiltoluacrida, Dietiltoluacrida, Dietiltoluacrida, Dietiltoluacrida, Dietiltoluacridamida y Estrógenos naturales	Lodo activado convencional	>90
Niina, Tuula , & Leif (2005)	Ácidos, Ibuprofeno, Naproxeno, Ketoprofeno, Diclofenaco y Bezafibrato	Lodo activado	26 a 92
Dutta et al (2014)	Acetaminofén, Diclofenaco, Ibuprofeno, Erythromycin, Sulfamethoxazole, Trimethoprin	Biorreactor de membrana anaerobio	88, 31, 54, 59, 40, 87

Nota. 1. Son variaciones en las concentraciones del efluente, 2. Son cambios en la ozonificación. Cada % de remoción hace referencia a cada fármaco respectivo en el orden descrito. En los casos donde solo aparece un % de remoción es porque aplica para todos los fármacos mencionados.

CAPITULO 4 REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA

De acuerdo con Navarro Ortega (2017), la fluidización consiste en hacer pasar un líquido a través de un lecho de partículas sólidas, las cuales quedan suspendidas en el fluido. Es decir, es un proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas. La fase sólida (o fase dispersa) se comporta como un fluido, de ahí el origen del término fluidización. Sin embargo, de acuerdo con Mazariegos Barajas (2006), en la industria farmaceutica existe un grado alto de riesgo al trabajar con este tipo de procesos, ya que pueden ocurrir explosiones. Sin embargo Arnaldos, Kozanoglu , & Casal (1998) citado por Mazariegos Barajas (2006), demostraron la posibilidad de eliminar estos riesgos, a traves de una serie de experimentos con varios tipos de particulas trabajando con lechos fluidizados en vacio. El resultado final fue una observacion donde el efecto en la velociadades de secado de particulas porosas al reducir la presion de operación en un lecho fluidizado, al vacio, es mayor.

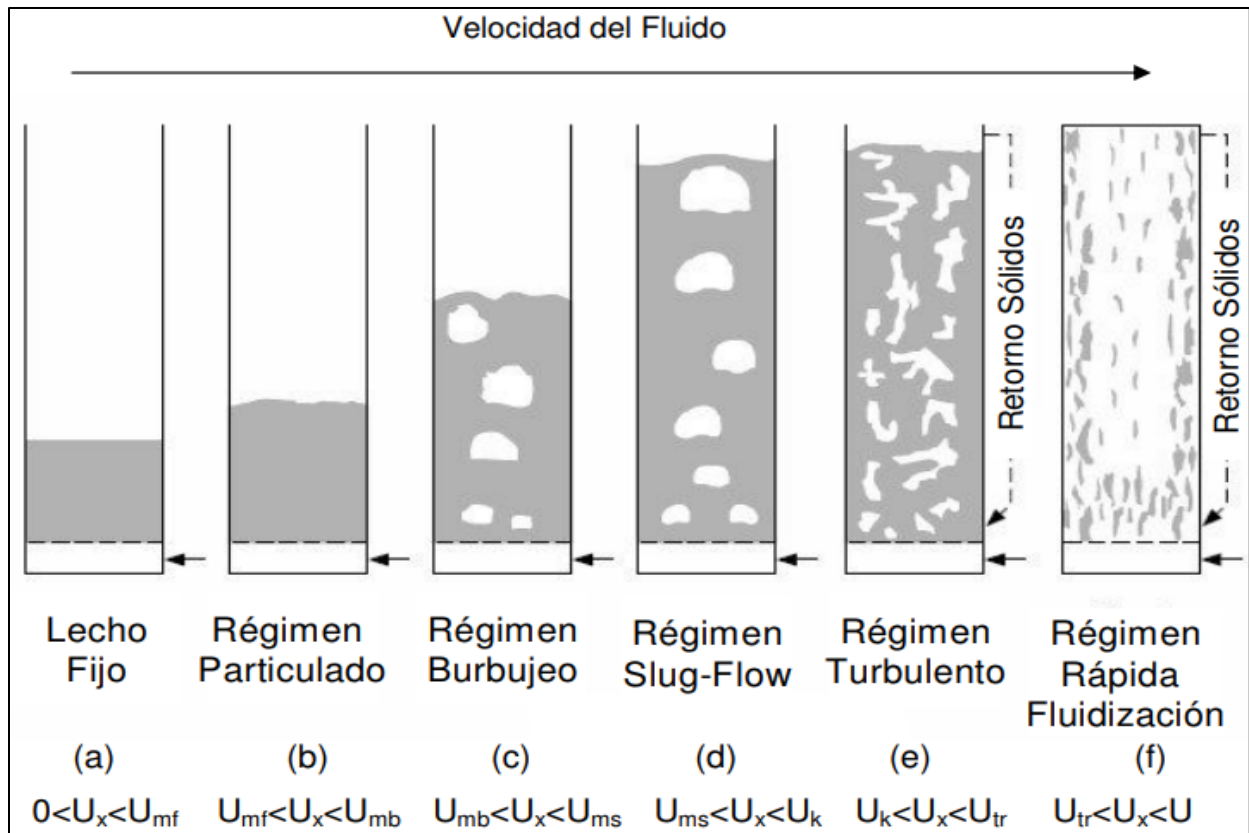
4.1 GENERALIDADES DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

Para Florez Cortés & Posada Noreña (2007) las principales ventajas de la fluidización consiste en que el sólido está vigorosamente agitado por el fluido que circula a través del lecho, y la mezcla de los sólidos asegura, que no existen prácticamente gradientes de temperatura en el lecho aun con reacciones fuertemente exotérmicas o endotérmicas. Además, el movimiento de los sólidos también da lugar a elevadas velocidades de transmisión de calor hacia la pared o los tubos de refrigeración sumergidos en el lecho. También, debido al comportamiento fluidizado de las partículas sólidas, los reactores de lecho fluidizado presentan un mezclado más uniforme que el reactor de lecho fijo. Los gradientes de concentración axial y radial se disminuyen permitiendo un mejor contacto entre el líquido y sólido mejorando la eficiencia en los procesos de degradación.

4.2 PRINCIPIOS DE FLUIDIZACIÓN

De acuerdo con Walas (2005) citado por Florez Cortés & Posada Noreña (2007), una vez los fluidos ingresan al reactor, las partículas presentan una leve expansión, la velocidad del fluido a la cual se llega a este fenómeno se conoce como *Velocidad Mínima de Fluidización*. Por esto, a partir de este punto la masa de sólido y fluido, presenta las características de flujo de un líquido. Según Walas (2005), se identifican seis tipos de regímenes de fluidización como se muestran en el esquema de la figura 2.

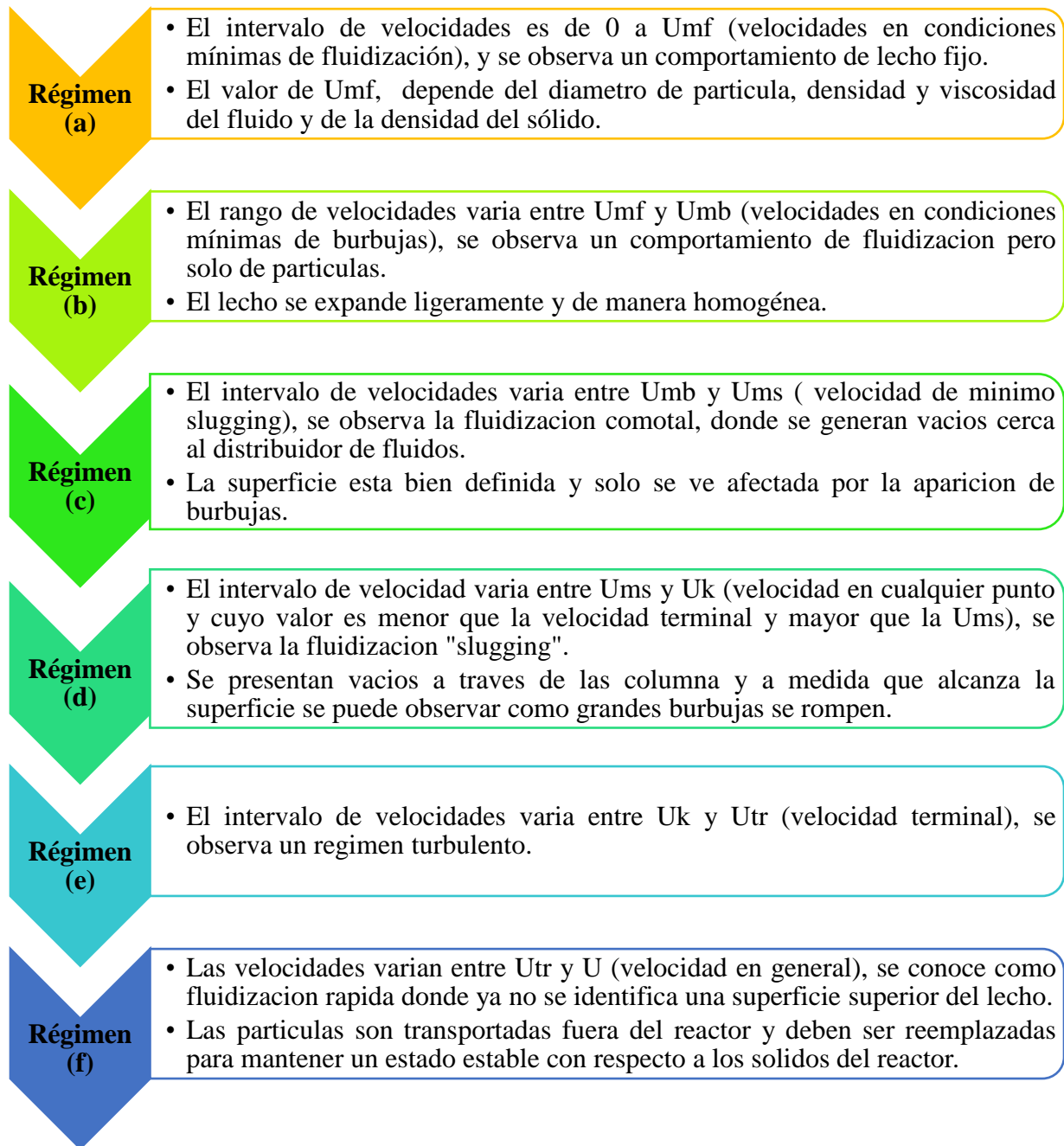
Figura 2. Regímenes de fluidización debido al aumento en la velocidad del fluido ascendente a través del lecho



Fuente: Perry (1998), tomado de Florez Cortés & Posada Noreña (2007)

De la Figura 2, Florez Cortés & Posada Noreña (2007) resaltan que, la velocidad del fluido tiene una gran influencia sobre el comportamiento del lecho, sobre las burbujas y sus características. Así mismo, Florez Cortés & Posada Noreña (2007) describen cada uno de los regímenes para dar una mejor aclaración de este proceso (Ver Figura 3).

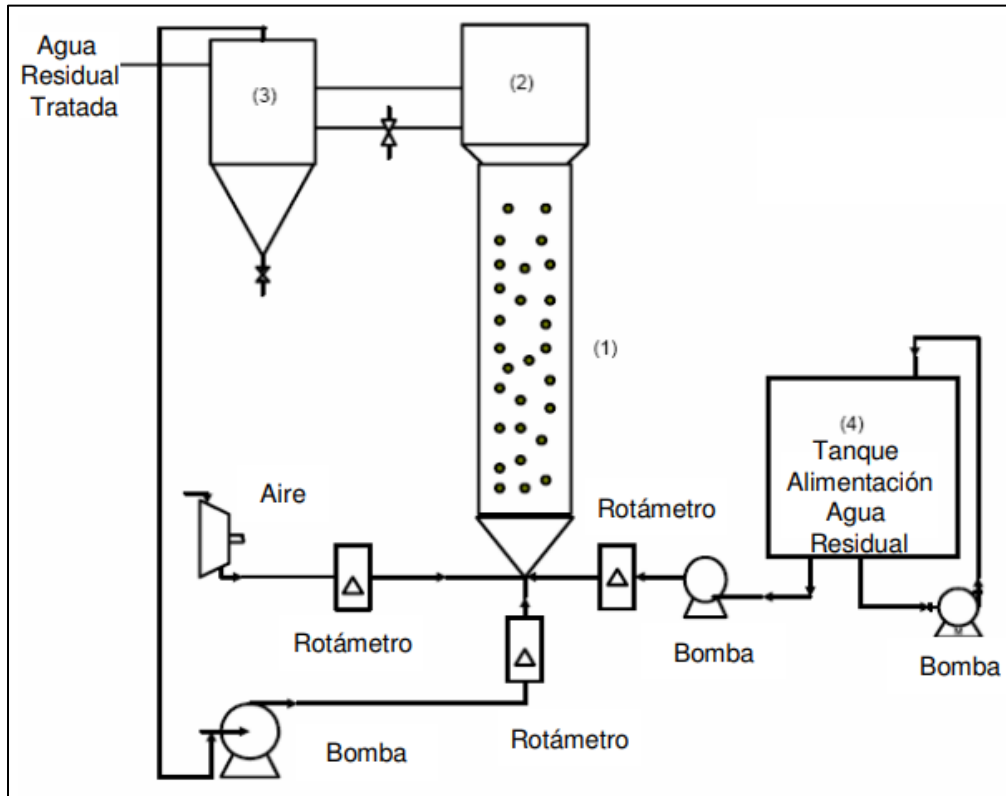
Figura 3. Descripción de los regímenes de fluidización.



Fuente: Editado de Florez Cortés & Posada Noreña (2007)

En este sentido, Florez Cortés & Posada Noreña (2007) ilustran la configuración general de un sistema de lecho fluidizado para el tratamiento biológico de aguas residuales (Figura 4). Allí, se muestra un ejemplo de un sistema de reacción para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica empleando un reactor de lecho fluidizado trifásico.

Figura 4. Esquema reactor de lecho fluidizado de tres fases.



Fuente: Souza, Bresolin, Bioni, Gimenez , & Dias Filho (2004), tomado de Florez Cortés & Posada Noreña (2007)

Según Florez Cortés & Posada Noreña (2007) el funcionamiento de este reactor de lecho fluidizado de tres fases comienza por el bombo de aire y agua hacia el mismo, como materia de soporte para los microorganismos se emplean generalmente discos pequeños de PVD y a medida que el agua y el aire ascienden a través del lecho, este comienza a ser fluidizado, es decir queda en un estado suspendido. Finalmente cuando el flujo de aire y agua alcanzan a superar el peso del lecho, aparecen pequeñas burbujas y el lecho se fluidiza por completo hasta llegar a un estado estable. Sin embargo Souza, Bresolin, Bioni, Gimenez , & Dias Filho (2004), aseguran que para alcanzar el porcentaje de degradación deseado, se debe realizar un reciclaje de agua tratada que se mezcla con la entrada de agua y aire inicial.

4.3 DISEÑO DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

Para Florez Cortés & Posada Noreña (2007), la fluidización es un campo de alta complejidad de manera que cada caso de diseño debe ser estudiado, analizando las diversas limitantes que presenta cada proceso. Las ecuaciones más generales de un reactor de lecho fluidizado son: a) Velocidad Superficial para líquido y para gas, b) Velocidad Mínima de Fluidización, c) Voidage de Lecho, d) Hold up para el Sólido, e) Hold up para el Líquido, f) Coeficiente de transferencias de Masa, g) Número de Froude, h) Número de Reynolds, i) Coeficiente de Arrastre, j) Velocidad Terminal, k) Número de Weber, l) Relación de potencia por unidad de volumen (P/V), m) Diámetro de Burbuja, n) Área Interfacial, ñ) Caída de Presión, o) Altura de Lecho, p) Altura del Reactor y q) Peso del Medio.

Por otra parte, teniendo en cuenta la metodología para el diseño de un equipo. En primer lugar, se deben establecer cuáles son los parámetros más importantes estableciendo un conocimiento sobre la relación que tienen con otras variables. La Tabla 4 resume los parámetros de diseño más relevantes para el reactor de lecho fluidizado.

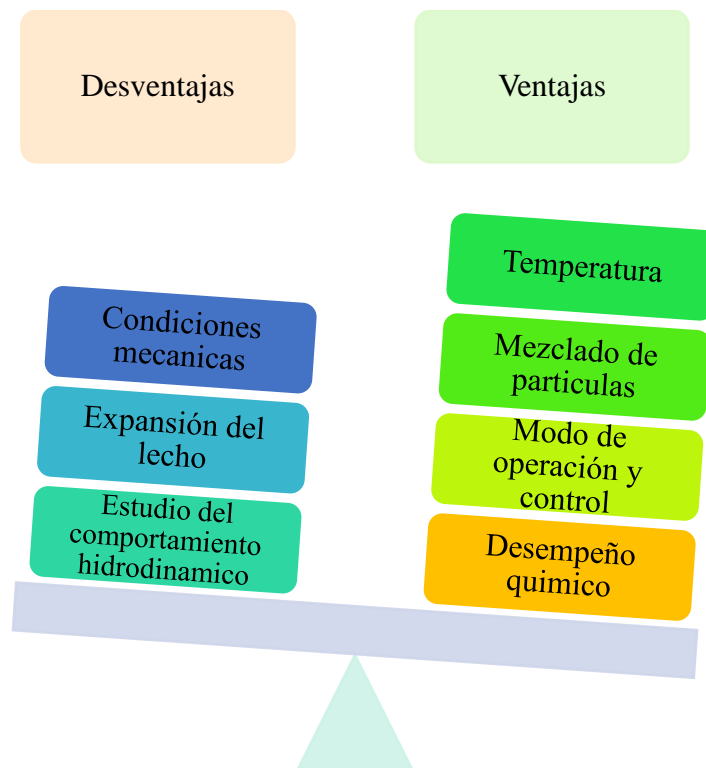
Tabla 4. *Parámetros de Diseño más Relevantes para el Reactor de Lecho Fluidizado.*

Símbolo	Nombre	Consideración
Sp	Gravedad específica de la partícula	Debe ser mayor que la gravedad específica del agua. Generalmente entre 1.05 – 3.0
Dp	Diámetro de la partícula	Diámetro entre 0.1 – 10 mm
U	Velocidad de fluidización	1.2 – 6 veces Umf
No	Nivel de salida	Este nivel debe ser considerado lo suficientemente alto para que el lecho fluidizado esté por debajo de No
Dd	Diámetro de distribuidor	$Dd < Dp$
B	Clasificación Geldart B	Dentro de la clasificación de las partículas propuesta por Geldart, se debe de tener partículas que caigan dentro de la categoría B.
Lh	Altura del lecho	Depende de varios factores, generalmente esta entre 0.3 m y 15 m.
Lr/D	Relación altura diámetro	$2 < L / D < 5$
ΔP	Caída de presión	$0.5 \text{ kPa} < \Delta P < 20 \text{ kPa}$

Nota: De acuerdo con Zessen, Tramper , Rinzema , & Beeftink (2005), estos parámetros ofrecen un criterio de para determinar la convergencia cuando se aplican ciclos de iteración. Fuente: Florez Cortés & Posada Noreña (2007)

4.4 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y COSTOS DE LOS LECHOS FLUIDIZADOS

Figura 5 *Ventajas y Desventajas de los Lechos Fluidizados*



Fuente: Levenspiel, (1986); Trambouze, Landeghem, & Wauquier (1988); Nicolella, Loosdrecht, & Heijnen (2000). **Citado por:** Florez Cortés & Posada Noreña (2007)

De acuerdo con la figura 5, las condiciones mecánicas son una desventaja ya que la abrasión causa erosión de tuberías y accesorios, el estudio del comportamiento hidrodinámico

puede resultar complicado generando cierta incertidumbre sobre su desempeño al momento de escalar el proceso y la expansión del lecho si es con una dimensión exagerada incrementaría los costos del capital. Por el contrario, la temperatura es una ventaja ya que se encuentra uniforme a lo largo del lecho, lo que permite su control y evita la formación de puntos calientes en puntos particulares. El mezclado de partículas, genera un mejor contacto entre el sólido y el fluido evitando gradientes de concentraciones asegurando una mayor eficiencia. El modo de operación puede llegar a ser continua o semi-continua, lo cual hace del lecho fluidizado una alternativa versátil y el control puede ser automático. El desempeño químico, genera una menor resistencia a la difusión del poro teniendo como consecuencia una mayor eficiencia y así utilizar menos un catalizador o en un caso particular que pueda ser fácilmente reemplazado.

Por otra encontramos los costos de compra para los diferentes tipos de reactores de lecho fluidizado, pero son muchas las empresas dedicadas a la producción y venta de esta tipo de tecnología. De acuerdo con PARR (2019) afirma que estos reactores tienen una excelente transferencia de calor y buenas características de mezclado. Por esta razón, el reactor de fluidizado son muy usados en los procesos químicos, en los que los parámetros como la difusión o transferencia de calor son los principales parámetros de diseño para su venta. La imagen 2 muestra algunos reactores ya elaboración considerados únicamente para instalación, con la variación de sus costos por tipo y empresa. Mientras que la Figura 6 muestra las características generales de la ficha técnica para considerar a la hora de comprar estos reactores.

Imagen 2 Tipos y Costos de Reactores de lecho fluidizado



Fuente: Elaboración propia (2019), tomado de: <https://spanish.alibaba.com/g/fluidized-bed-reactor.html>

Figura 6 Características de los reactores de lecho fluidizado

1. Caldera de reacción	2. Caldera de reacción	3. Reactor de tanque
<ul style="list-style-type: none">• Marca: YuanJian• Energía (W): 90 W• Capacidad: 18L• Lugar del origen: Shaanxi, China• Automatica• Temperatura: -60-200 °C	<ul style="list-style-type: none">• Marca: Verde destilar• Energía (W): 120 W• Capacidad: 10L• Lugar del origen: Shanghai, China• Automatica• Temperatura: -60-200 °C	<ul style="list-style-type: none">• Marca: SINOPEL• Energía (W): 120 W• Capacidad: 10L• Lugar del origen: Shanghai, China• Automatica• Temperatura: 0-200 °C

Fuente: Editado de: <https://spanish.alibaba.com/g/fluidized-bed-reactor.html>

Tabla 5 Cuadro Comparativo de los Reactores Biológicos para el Tratamiento de Aguas Residuales.

Tipo de Reactor	Velocidades	Eficiencia			Complejidad de Diseño	Costos
		de Remoción (%)	Patrón de Flujo	H/D		
Reactor de lecho fluidizado (BFR)	10-30 m/h	Variable 86-100	Ascendente	2-5	Baja	Bajos, debido a los pocos equipos que requiere en su funcionamiento
Reactor de manto de lodo de flujo ascendente (USBR)	0.5-1 m/h	+/- 90	Ascendente	0.2- .05	Media, debido al diseño de los colectores de gas	Medianos, debido a los colectores de gas
Lecho de lodo granular expandido (EGSB)	10-15 m/h	Información no disponible	Ascendente	4-5	Alta, emplea las consideraciones de diseño tanto para el BFR como para el USBR	Altos, empleo de equipos para recolección de bio-gas y separador solido-liquido

Reactor aereo de biopelícula (BAS)	0.4-0.8 m/s (circulación)	Información no disponible	Mezclado	4- 5	Alta, se debe considerar varias zonas turbulentas para asegurar un buen mezclado de las corrientes liquidas y gaseosas.	Altos
Reactor de circulación interna (IC)	Superior: 4- 8 m/h Inferior: 10- 30 m/h	70- 80	Mezclado	3- 6	Alta, ya que este implica el control de muchas variables de operación y es altamente compleja su construcción	Altos, requiere varios equipos para la recolección de bio-gas y transporte interno de las corrientes a entrar.

Nota: Estos reactores se aplican para tratamientos de las aguas residuales de la industria papelera, farmacéutica, licorera, de explosivo. También para las aguas residuales institucionales y domésticas.

Además de obtener las ventajas, desventajas y costos como se describieron anteriormente. Se conocieron los diferentes reactores biológicos creados a lo largo de la historia. Cada uno de los reactores, se diferencia por el tipo de circulación de flujo, o por la combinación de sus componentes. Sin embargo, el caso más particular es diferenciar si existe o no una recirculación y si se está inyectando aire o no. Todo esto, con el fin de conocer la facilidad del reactor biológico

y su capacidad de remoción por reacciones anaerobias o aerobias. La Tabla 5, muestra una comparación de los reactores biológicos que se lograron encontrar en diferentes fuentes. Los reactores mencionados en esta tabla han sido empleados únicamente para el tratamiento de aguas residuales. No obstante, se encontró un patrón semejante en cada uno de ellos cuando su implementación se realiza para las diferentes industrias, pues, en cada uno de los diseños conceptuales siempre va existir una recirculación.

4.5 LECHO FLUIDIZADO COMO REACTOR PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA: REVISIÓN

Tabla 6 *Estudios con Lecho Fluidizado como Reactor para el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Industria Farmacéutica.*

Autores	Farmacéutico	% Remoción
Wei-Hsiang , Yu-Ting , Tsung-Hsien , Wen- Hsing , & Jih-Gaw (2019)	Ibuprofeno, Naproxeno, Carbamazepina y Diclofenaco	90, 97, 92 IND
Al Qarni, Collier , O'Keeffe, & Akunna (2016)	Atenolol, Eritromicina, Ciclofosfamida, Paracetamol, Bezafibrato, Carbamazepina, Ciprofloxacina, Cafeína, Claritromicina, Lidocaína, Sulfametoxazol y N- Acetilsulfametoxazol	90
Kasturi et al (2014)	Combinación de 20 productos farmacéuticos, excepto diclofenaco	96-100, 98

Cruz-Morató et al (2013)	Analgesicos y anti-inflamatorios y Antibioticos, β -bloqueadores psiquiátricos	100
Joss et al (2005)	Carbamazepina, Ibuprofeno, 7 productos no identificados y 2 fragancias	90, 90, 90, 70

Nota: IND: Índice no definido. Cada % de remoción hace referencia a cada fármaco respectivo en el orden descrito. En los casos donde solo aparece un % de remoción es porque aplica para todos los fármacos mencionados.

Son varios los estudios, que demuestran la efectividad de remoción en un reactor de lecho fluidizado. Además, en el estudio *Biorreactor anaerobico de membrana de lecho fluidizado para el tratamiento de las aguas residuales* de Jeonghwan et al (2010) demostraron que la energía total requerida para la fluidización en un reactor de lecho fluidizado es de 0.028 kWh/m³ y que esta energía, podría satisfacerse utilizando solo el 30% de la energía de metano gaseosa producido la acción del reactor. Sin embargo, para el caso particular de las aguas residuales producidas en las industrias farmacéuticas, el estudio *Eliminación de productos farmacéuticos en aguas residuales municipales utilizando un biorreactor de membrana fluidizado anaeróbico por etapas* de Wei-Hsiang , Yu-Ting , Tsung-Hsien , Wen-Hsing , & Jih-Gaw (2019) comprobaron que los diferentes procesos responsables de la eliminación de estos productos farmacéuticos son más críticos y sus efectos se modificaron de forma limitada por el ajuste del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), lo que indica la importancia de conocer las propiedades de un producto farmacéutico para la selección de un enfoque de tratamiento adecuado. Por último, el estudio de *Eliminación de algunos compuestos farmacéuticos en plantas de tratamiento de aguas residuales de hospitales que operan en Arabia Saudita* de Al Qarni, Collier , O'Keeffe, & Akunna (2016), informaron que los compuestos farmacéuticos son relativamente recalcitrantes al tratamiento biológico y

generalmente se eliminan solo parcialmente y que el factor considerado como mejoramiento principal del proceso para la eliminación de estos compuestos son las temperaturas elevadas.

CONCLUSIONES

Los compuestos farmacéuticos y los similares se están convirtiendo en un problema real de salud pública, ya que cada vez más se comprueba su presencia en las aguas subterráneas e incluso en agua potable. Además, según Rodríguez Perez (2013) se ha comprobado la mutación de los microorganismos acuáticos, quienes obtienen resistencia a los tratamientos para la potabilización. Por esta razón, el riesgo potencial de los productos farmacéuticos se debe monitorear cuidadosamente con más datos de bioensayos, ya que existe incertidumbre en la determinación y toxicidad de los metabolitos en ambientes acuáticos.

De acuerdo con los estudios consultados, los métodos convencionales de tratamiento de agua potable (Filtros de arena o de tierra diatomáceas, Cloro, Cloramina, entre otros) son relativamente ineficientes para la eliminación de contaminantes, mientras que la eliminación eficiente del 99% se logra mediante carbón activado granular o productos similares en los reactores de membrana o en los reactores de lecho fluidizado de 2 y 3 etapas.

A pesar de los pocos estudios reportados aplicando aguas residuales reales, gran parte de los resultados alientan a continuar el estudio de la depuración de tales efluentes para analizar otras estrategias operativas y optimizar el proceso para extender y mejorar el tratamiento. Sin embargo, un estudio ha demostrado la posibilidad de utilizar un biorreactor de lecho fluidizado para la

eliminación de los farmacéuticos en concentraciones ambientalmente relevantes (condiciones naturales), los cuales pertenecen a los grupos Analgésicos y anti-inflamatorios excepto el Diclofenaco, Antibióticos y β -bloqueadores psiquiátricos.

De acuerdo con los autores citados, las concentraciones de los compuestos farmacéuticos y los tiempos de retención menores a 2 horas son los parámetros que inciden mayormente sobre la eficiencia de los reactores de lecho fluidizado. Por lo anterior, se recomienda a las industrias farmacéuticas la implementación de un tratamiento físico-químico en sus aguas residuales antes de los vertimientos a las redes de alcantarillado. Esto con el fin de que se adapten a las características y especificaciones de sus efluentes, para evitar que los contaminantes farmacéuticos en altas concentraciones lleguen a las plantas de tratamiento de agua residual.

Se encontró que los farmacéuticos más abundantes pertenecen al grupo de compuestos analgésicos/antiinflamatorios. Sin embargo, la resistencia de los fármacos a los diferentes tratamientos es variable para cada medicamento. Razón por la cual, se clasifican como no resistentes, medianamente resistentes y muy resistentes.

REFERENCIAS

- Al Qarni, H., Collier , P., O'Keeffe, J., & Akunna, J. (2016). Investigar la eliminación de algunos compuestos farmacéuticos en plantas de tratamiento de aguas residuales de hospitales que operan en Arabia Saudita. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 13003-13014.
- Alibaba.com . (2019). *Global trade stars here*. Obtenido de Reactor de lecho fluidizado : <https://spanish.alibaba.com/g/fluidized-bed-reactor.html>
- Arnaldos, J., Kozaoglu , B., & Casal, J. (1998). Fluidización al vacío: aplicación al secado ", en" Actas de la IX Conferencia Internacional de Fluidización. *Fundacion de Ingenieria - Nueva York*, 709-716.
- Choi , M., Choi, D., Lee , J., Kim, Y., Kim , B., & Lee, B. (2012). Eliminación de residuos farmacéuticos en aguas residuales municipales por DAF (flotación por aire disuelto) -MBR (biorreactor de membrana) y oxidación de ozono. *Water Sci Technology*, 46-55.
- Choi, K., Kim, Y., Parque, J., Parque , C., & Kim, M. (2008). Variaciones estacionales de varios residuos farmacéuticos en aguas superficiales y plantas de tratamiento de aguas residuales del río Han, Corea. *Sci Total Environ*, 120-128.
- CINFASALUD. (12 de Enero de 2015). *Conoce el proceso de fabricación de los fármacos*. Obtenido de Cómo se fabrica un medicamento: <https://www.cinfasalud.com/areas-de-salud/medicamentos/tipos-de-medicamentos/como-se-fabrica-un-medicamento/>

Clara , M., Strenn , B., Gans, O., Martínez , E., Kreuzinger, N., & Kroiss, H. (2005). Eliminación de productos farmacéuticos seleccionados, fragancias y compuestos disruptores endocrinos en un biorreactor de membrana y plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales. *Res de agua*, 4797-4807.

Condorchem Envitech. (20 de Agosto de 2019). *INGENIERIA AMBIENTAL* . Obtenido de TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, EFLUENTES Y AIRE AL SERVICIO DEL MEDIO AMBIENTE: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-industria-farmaceutica/>

Correa, P. (20 de Junio de 2018). *EL ESPECTADOR* . Obtenido de LOS RIOS DE COLOMBIA TAMBIEN ESTAN LLENIS DE ACETAMINOFEN : <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/los-rios-colombianos-tambien-estan-llenos-de-acetaminofen-articulo-795521>

Cruz-Morató, C., Ferrando-Climent, L., Rodriguez-Mozaz, S., Barceló, D., Marco-Urrea, E., Vicent, T., & Sarra, M. (2013). Degradation of pharmaceuticals in non-sterile urban wastewater by *Trametes versicolor* in a fluidized bed bioreactor. *water research*, 5200-5210.

De Anca-Escudero, A. (2013). Marketing en la industria farmacéutica. *Cuadernos del Tomás*, 191-214.

De Wever , H., Van Roy , S., Dotremont, C., Miller, J., & Knepper, T. (2004). Comparación de la eliminación lineal de alquilbenceno sulfonatos en sistemas convencionales de lodos activados y biorreactores de membrana. *Water Sci Technol.*, 219-225.

Dutta, K., Lee, M., Lai, W., Lee, C., Lin, A., Lin, C., & Lin, J. (2014). Removal of pharmaceuticals and organic matter from municipal wastewater using two-stage anaerobic fluidized membrane bioreactor. *Bioresour Technology*, 42-49.

ECURED. (26 de Agosto de 2019). *ECURED*. Obtenido de Farmacos : <https://www.ecured.cu/F%C3%A1rmacos>

Escoto Salinas, L. A. (27 de Octubre de 2009). *MONOGRAFIAS.COM*. Obtenido de Estabilidad de medicamentos: <https://www.monografias.com/trabajos75/estabilidad-medicamentos/estabilidad-medicamentos.shtml>

Florez Cortés, D. M., & Posada Noreña, J. (2007). DISEÑO CONCEPTUAL DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO A ESCALA LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *UNIVERSIDAD EAFIT-DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESOS*, 101.

González, S., Petrovic, M., & Barceló, D. (2007). Eliminación de una amplia gama de tensioactivos de las aguas residuales municipales: comparación entre el biorreactor de membrana y el tratamiento convencional de lodos activados. *Quimiosfera*, 335-343.

Guillermina Volonté, A., & Quiroga, P. (2013). *ANALISIS FARMACÉUTICO*. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata - edulp.

Han, G., Hur, H., & Kim, S. (2006). Ecotoxicological risk of pharmaceuticals from. *Environ Toxicol Chem*, 265-271.

Hirsch, R., Ternes, T., Haberer, K., & Kratz, K.-L. (1999). Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *Science of The Total Environment*, 25, 109-118.

IMS Health. (18 de Septiembre de 2012). *EL MERCADO FARMACEUTICO ESPAÑOL*. Obtenido de <http://www.academia.cat/files/425-3712-DOCUMENT/Martinez-55-18sep12.pdf>

Jeonghwan , K., Kihyun , K., Hyoungyoung, Y., Eunyoung , L., Chungheon, S., Perry L., M., & Jaeho, B. (2010). Biorreactor anaeróbico de membrana de lecho fluidizado para tratamiento de aguas residuales. *Environ. Sci. Technol.*, 576-581.

Joss , A., Keller, E., Alder , A., Göbel, A., McArdell , C., Ternes , T., & Siegrist, H. (2005). Eliminación de productos farmacéuticos y fragancias en el tratamiento biológico de aguas residuales. *Res de agua*, 3139-3152.

Kasturi , D., Ming-Yi , L., Webber Wei-Po , L., Chien Hsien, L., Angela Yu-Chen , L., & Cheng-Fang, L. (2014). Removal of pharmaceuticals and organic matter from municipal wastewater using two-stage anaerobic fluidized membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, 42-49.

Kim, S., Cho, J., Kim, I., Snyder, S., & Vanderford, B. (2007). Ocurrencia y eliminación de productos farmacéuticos y disruptores endocrinos en la superficie surcoreana, el agua potable y las aguas residuales. *Res de agua*, 1013-1021.

Kravitz, R., & Bell, R. (2013). Media, messages, and medication: strategies to reconcile what patients hear, what they want, and what they need from medications. *Medical Informatics & Decision Making*, 8.

Levenspiel, O. (1986). *Ingenieria de las Reacciones Quimicas*. Mexico: Reverté.

Lishman , L., Smyth, S., Sarafin , K., Kleywegt, S., Toito , J., Peart , T., . . . Beland, M. (2006). Ocurrencia y reducción de productos farmacéuticos y de cuidado personal y estrógenos por

las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en Ontario, Canadá. *Sci Total Environ*, 544-558.

Mazariegos Barajas, D. (12 de Diciembre de 2006). *Secado de Arroz con Cáscara en un lecho fluidizado al vacío, empleando vapor sobrecalentado*. Obtenido de Biblioteca UDLAP : http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/mazariegos_b_d/

Navarro Ortega, K. R. (13 de Julio de 2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA*. Obtenido de OPERACIONES MECANICAS: https://www.academia.edu/35412857/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_QUIMICA_OPERACIONES_MECANICAS_INTEGRANTE.

Nicolella, C., Loosdrecht, M., & Heijnen, J. (2000). Wastewater treatment with particulate biofilm reactor. *Journal of Biotechnology*, 1-33.

Niina, L., Tuula, T., & Leif, K. (2005). Ocurrencia de productos farmacéuticos ácidos en aguas residuales tratadas y crudas y en aguas receptoras. *Investigación del agua*, 2219-2228.

Norihide, N., Toshikatsu, T., Hiroyuki, S., Kentaro, K., & Hideshige, T. (2006). Productos químicos farmacéuticos y disruptores endocrinos en aguas residuales municipales en Tokio y su eliminación durante el tratamiento de lodos activados. *Investigación del agua*, 3297-3303.

Organizacion Mundial de la Salud. (20 de Agosto de 2019). *Agua, saneamiento e higiene*. Obtenido de Productos farmacéuticos en el agua potable: https://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/info_sheet_pharmaceuticals/es/

- PARR. (2019). *Parr Instrument Company* . Obtenido de 5410 Reactores de Lecho Fluidizado:
<https://www.parrinst.com/es/products/tubular-reactor-systems/fluidized-bed-reactors/>
- Paxéus, N. (2004). Eliminación de medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) seleccionados, gemfibrozilo, carbamazepina, betabloqueantes, trimetoprima y triclosán en PTAR convencionales en cinco países de la UE y su descarga al medio ambiente acuático. *Water Sci Technol.*, 253-260.
- Peake, B., Braund, R., Tong, A., & Tremb, L. (2015). *The Life-Cycle of Pharmaceuticals in the Environment*. Auckland, New Zealand: WOODHEAD PUBLISHING-WP.
- Perry, R. (1998). *Manuela del Ingeniero Químico* . McGraw-Hill.
- Rađenović, J., Petrović , M., & Barceló, D. (2009). Destino y distribución de productos farmacéuticos en aguas residuales y lodos de depuración del lodo activado convencional (CAS) y tratamiento avanzado de biorreactor de membrana (MBR). *Res de agua*, 831-841.
- Ramos Alvariño, C., Espinosa Lloréns, M., López Torres, M., & Pellón Arrechea , A. (2005). Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos. *CENIC Ciencias Químicas*, 36(1), 39-43.
- Santa María, J. M. (Julio de 2015). *FEFARA AVANZA*. Obtenido de Tendencias de consumo y factores de crecimiento del sector farmacéutico:
http://www.programainfosalud.com/PDFs/PDF_06-07-2015_09-05-07.pdf
- Smook , T., Zho , H., & Zytner, R. (2008). Eliminación de ibuprofeno de las aguas residuales: comparación de biodegradación en sistemas de tratamiento de eliminación de nutrientes biológicos y biorreactores de membrana convencionales. *Water Sci Technol.*, 1-8.

- Souza, R., Bresolin, T., Bioni, T., Gimenez, M., & Dias Filho, B. (2004). The performance of a three-phase fluidized bed reactor in treatment of wastewater with high organic load. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 219-227.
- SPENA GROUP. (20 de 08 de 2019). *Tratamiento de aguas residuales en la industria farmaceutica*. Obtenido de (SAFE H2O) : <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-farmaceutica/>
- Ternes, T. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32(11), 3245-3260.
- Trambouze, P., Landeghem, H., & Wauquier, J. (1988). *Chemical Reactors: Design, Engineering, Operation*. Paris: Technip.
- Venegas Loaiza, A. (16 de Marzo de 2018). *LA REPÚBLICA*. Obtenido de De 1.122 municipios en el país, solo 541 cuentan con sistemas de saneamiento: <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>
- Walas, S. M. (2005). *Chemical Process Equipment*. Washington: Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- Wei-Hsiang, C., Yu-Ting, W., Tsung-Hsien, H., Wen-Hsing, C., & Jih-Gaw, L. (2019). Removals of pharmaceuticals in municipal wastewater using a staged anaerobic fluidized membrane bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 29-36.
- Yan, Q., Gao, X., Chen, Y., Peng, X., Zhang, Y., Gan, X., . . . Guo, J. (2014). Ocurrencia, destino y evaluación ecotoxicológica de compuestos farmacéuticamente activos en aguas

residuales y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en Chongqing, el área del embalse de las Tres Gargantas. *Sci Total Environmental*, 618-630.

Zessen, E., Tramper, J., Rinzema, A., & Beftink, H. (2005). Fluidized bed and packed bed characteristics of gel beads. *Chemical engineering journal*, 103-111.

Zolfaghari, P., Shojaat, R., Karimi, A., & Saadatjoo, N. (2018). Application of fluidized bed reactor containing GOx/MnFe₂O₄/calcium alginate nano-composite in degradation of a model pollutant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6414-6420.