



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Métodos Biológicos para la
Eliminación de Contaminantes Emergentes en Aguas
Residuales.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

Alvarado Cueva Marjorie (ORCID: 0000-0002-8231-2942)
Ley Huamán Yolanda Beatriz (ORCID: 0000-0002-0305-1378)

ASESOR:

Dr. Sernaqué Auccahuasi Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recurso Naturales

LIMA – PERÚ
2020

Dedicatoria:

El presente trabajo de investigación les dedico a mis padres Ladislao Lelis ley vilca y a mi madre Georgina Huamán Trujillo, por sus palabras y su compañía no lo hubiera logrado. Su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien, así poder cumplir con mis objetivos de ser profesional.

A mis hermanos y compañero, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser una mejor persona.

Yolanda.

A mis padres por el apoyo incondicional, moral y económico para poder culminar esta etapa de mi carrera universitaria, gracias hijo mío por darme las fuerzas de salir adelante, tus eres el motor de mi lucha día a día, este logro se lo dedico a ustedes.

Gracias Dios por las bendiciones, por permitirme celebrar este logro a lado de mis padres y mi hijo.

A mi amiga y compañera de tesis con quien he compartido momentos difíciles y logros en todo este tiempo de amistad.

Marjorie.

Agradecimientos:

Le agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado. Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad Cesar Vallejo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a nuestro asesor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
INDICE	IV
INDICE DE TABLAS.....	V
IDICE DE FIGURAS.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. MARCO TEÓRICO.....	15
III. METODOLOGÍA	24
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	24
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	25
3.3. Escenario	28
3.4. Participantes.....	28
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.6. Procedimiento.....	29
3.7. Rigor científico.....	32
3.8. Método de análisis de datos	34
3.9. Aspectos éticos	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación de los contaminantes emergentes</i>	18
Tabla 2: <i>Matriz de Categorización Apriorística</i>	25
Tabla 3: <i>Resultados de artículos sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes</i>	34
Tabla 4: <i>Cantidad de artículos encontrados sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes</i>	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: *métodos biológicos para la remoción de contaminantes emergentes* 22

Figura 2: *flujograma del procedimiento para determinar el n final según los criterios de inclusión*..... 30

Figura 3: *Cantidad de artículos encontrados sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes*..... 41

RESUMEN

Los contaminantes emergentes se encuentran presentes en las aguas residuales debido a las actividades humanas y comerciales; estos contaminantes se originan por los productos farmacéuticos, estética, agroindustriales, productos de aseo personal, entre otros. La presencia de estos contaminantes expone a una contaminación severa al agua y suelo, aún en bajas concentraciones estos pueden originar aparición de agentes resistentes a los medicamentos, alteración reproductiva de los organismos acuáticos, pérdidas de biodiversidad, etc.

Esta investigación tiene como objetivo determinar los métodos biológicos a través de los cuales se pueden eliminar los contaminantes emergentes en aguas residuales. Para lo cual, se determinó los tipos de contaminantes emergentes y los agentes biológicos que actúan en el proceso. Este proyecto se realizó con el fin de sintetizar las investigaciones de las tecnologías que se vienen desarrollando para la eliminación de estos contaminantes. Para lo cual, se recopiló artículos de diferentes autores que aplicaron algún método biológico para la remoción de contaminantes emergentes. En la revisión sistemática se filtraron 100 artículos hasta llegar a una n final de 18. De acuerdo con las fuentes encontradas se concluyó que los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes de mayor estudio son la fitorremediación, remediación microbiana, biomasa, carbón activado, biocompuestos, biopolímeros y lodos activados, en orden descendente. También se determinó que los contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales provienen principalmente de los productos farmacéuticos, antibióticos, productos para cuidado personal, desinfectantes, hormonas esteroides, tensioactivos, pesticidas y productos químicos industriales, etc.

Palabras Claves: Biorremediación, Fitorremediación, contaminantes emergentes, tratamiento biológico.

ABSTRACT

Pollutants emerging are present in wastewater due to human and commercial activities; These pollutants originate from pharmaceuticals, aesthetics, agro-industrial products, personal hygiene products, among others. The presence of these pollutants exposes severe contamination to water and soil, even in low concentrations they can cause the appearance of drug-resistant agents, reproductive alteration of aquatic organisms, loss of biodiversity, etc.

This research aims to determine the biological methods through which emerging pollutants in wastewater can be removed. For which, the types of emerging pollutants and biological agents that act in the process were determined. This project was carried out in order to synthesize the investigations of the technologies that are being developed for the elimination of these pollutants. For which, articles by different authors who applied some biological method for the elimination of emerging pollutants are compiled. In the systematic review, 100 articles were filtered until reaching a final n of 18. According to the sources found, it was concluded that the biological methods for the elimination

f emerging pollutants of greater study are phytoremediation, microbial remediation, biomass, activated carbon, biocomposites, biopolymers and activated sludge, in descending order. It was also determined that emerging pollutants present in wastewater come mainly from pharmaceuticals, antibiotics, personal care products, disinfectants, steroid hormones, surfactants, pesticides and industrial chemicals, etc.

Keywords: Bioremediation, Phytoremediation, emerging pollutants, biological treatment

I. INTRODUCCIÓN

Se entiende como Contaminante Emergente a todo contaminante previamente desconocido o no reconocido como tal, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de esta. La detección de estos contaminantes en el medio ha sido posible sólo recientemente gracias al desarrollo de nuevas y más sensibles tecnologías analíticas.

Sin embargo, en los últimos años se han realizado estudios demostrando la presencia de contaminantes emergentes en distintos medios como el suelo y el agua, los cuales provienen de los efluentes de aguas tratadas. (Mohamed, 2017, párr. 4). Por lo que aún con la depuración de las aguas residuales el uso de estas o el vertimiento al ambiente puede generar contaminación si no se han analizado y tratado específicamente a los contaminantes emergentes (Mahjoub, Chiron, Dahchour, Siebe, 2015, p. 1271).

Las principales fuentes de generación de los contaminantes emergentes son aquellas empresas dedicadas a la producción de productos farmacéuticos, consumo doméstico (productos de belleza, sustancias de desinfección, etc.), equipo médico, etc. (Dosoretz, 2019, p.1). Adicionalmente, algunos contaminantes emergentes, como el triclosán, se ha empleado durante mucho tiempo como desinfectante o antiséptico y que a diario se ve presente en las aguas residuales de muchos lugares (Magro, Mateus, Paz y Ribeiro, 2020, p.2).

Pero son las plantas de tratamiento de aguas residuales las responsables de distribuir estos contaminantes emergentes en diferentes áreas urbanas. Esto se debe a que antes no se regulaba estos parámetros y por ende las plantas vertían las aguas tratadas a las distintas áreas verdes o los cuerpos de agua. (Huang, Dsikowitzky, Yang y Schwarzbauer, 2020, p.2).

Aunque las plantas de tratamiento tratan de mejorar sus tecnologías muchas otras industrias desechan sus efluentes directamente al río sobrecargándolo con nutrientes como: nitrógeno, fósforo, carbono, entre otros minerales. En la India, exactamente en el estado de Sikkim, existen industrias dedicadas a la

producción de insumos farmacéuticos y que descargan irresponsablemente, sus efluentes en los cuerpos de agua cercanos (Ríos Setikhola), alterándolo por completo. (Singh y Ummalya, S. B, 2020, p. 5)

Los contaminantes emergentes han llegado a ser un tema de preocupación mundial, ya que el recurso hídrico se ve seriamente afectado, ya sea mediante fugas o malos manejos de almacenamiento o de procesos de purificación, los contaminantes emergentes pueden llegar a las reservas subterráneas de agua u otros cuerpos de agua (Dosoretz, 2019, p.2).

En Europa se está empezando a dar prioridad al reconocimiento y tratamiento de estos preocupantes emergentes; esto se dio a partir de que algunos estudios han evidenciado contaminantes en concentraciones perjudiciales para la salud y el ambiente; contaminantes como difenil, éteres polibromados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxina y mercurio representan una amenaza para todos (Dulio y Slobodnik, 2015, 2182).

Los métodos biológicos para la remoción de emergentes es una opción muy atractiva por ser ecológica; además que algunos organismos bacterianos u hongos parecen ser específicos para degradar a los contaminantes (Keen, et al, p. 2037)

Por lo que se plantea lo siguiente. ¿Cuáles son los métodos biológicos, a través de los cuales, se eliminan los contaminantes emergentes en aguas residuales? En consecuencia, como problemas específicos ¿Cuáles son los organismos biológicos y cuál es la clasificación de estos organismos, que actúan en los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales? ¿Cuáles son los contaminantes emergentes presentes en aguas residuales? ¿Cuáles son las tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales, que más se adecuen a los procesos de remoción biológica?

La investigación se realizó con el propósito de generar nuevos conocimientos sobre las tecnologías que se vienen desarrollando para la eliminación de contaminantes emergentes y su evidencia sobre la eficacia en la remoción de dichos contaminantes. Es por este motivo que se recopiló fuentes de diversos

autores que aplicaron una revisión sistemática y trataron el tema de saneamiento de residuos emergentes en aguas residuales, permitiendo el enriquecimiento y la indexación de fuentes confiables.

La realización de este trabajo de investigación, es la recopilación, síntesis, revisión sistemática de procedimientos biológicos para la eliminación de los contaminantes emergentes en aguas residuales, para compendiar evidencias científicas que permiten aportar, verificar y analizar aspectos teóricos y entender el método para el tratamiento y eliminación de estos contaminantes emergentes en aguas residuales, lo cual, a su vez, servirá para que esta nueva información válida se encuentre al alcance de futuros investigadores.

Implica también la realización de este trabajo de investigación, la valoración de los aportes técnicos y científicos realizados, la profundidad del contenido informativo, que son resultados de estudios, análisis, pruebas y puesta en práctica, evidenciándose los resultados y evaluando el impacto en el tratamiento y la remediación de las aguas residuales. Al tratarse de una tecnología en desarrollo; ayuda a la comunidad científica y a los investigadores. Por lo cual, es indispensable evaluar la eficacia de cada una de ellas, así se podrán desarrollar nuevas tendencias a partir de las más beneficiosas.

Por tales motivos, se planteó como objetivo general determinar los métodos biológicos a través de los cuales, se eliminan los contaminantes emergentes en aguas residuales. Como objetivos específicos: describir los tipos de organismos biológicos y su clasificación, que actúan en los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales; detallar los contaminantes emergentes presentes en aguas residuales; encontrar la manera de adecuar las tecnologías existentes de tratamientos de aguas residuales en procesos de remoción biológica. Todo mediante una óptica de la revisión sistemática.

II. MARCO TEÓRICO

Los contaminantes emergentes son aquellos compuestos químicos, que debido a su baja tasa de concentración no eran considerados significativos; sin embargo, hoy en día se han encontrado en distintos medios la presencia de estos contaminantes, que, si bien algunos pueden permanecer por cortos periodos, su presencia ocasiona un fuerte impacto al ambiente y, sobre todo a la salud humana (Gil, Soto, Usma y Gutiérrez, 2012, p.53).

Ante la evidencia de los contaminantes emergentes y su dificultad para ser tratados. Se deben considerar distintos métodos comprobando la efectividad de estos. Chaker, Mahjoub, B. Mahjoub y Sillanpää (2017), presentaron y debatieron sobre diferentes investigaciones relacionadas a los métodos biológicos aplicadas en aguas residuales. Los científicos diferenciaron los métodos en remediación basada en adsorción, biorremediación y tratamientos con múltiples componentes. Entre los de adsorción se encuentran los métodos por biomasa, carbón activado, biopolímeros, biocompuesto, y lodos activados. Mientras que en las biorremediaciones están los métodos por fitorremediación, remediación microbiana, biocoagulantes y biofloculantes. Todos estos métodos fueron descritos y evaluados aportando una remediación orientada en una alternativa sostenible para aguas contaminadas por el proceso de producción de farmacéuticos (p.2-21).

Diversos investigadores realizaron estudios sobre métodos biológicos; aunque no todos están de acuerdo con que estos sean los más apropiados para la eliminación de estos contaminantes. Los investigadores Keen, et al (2014) mediante su revisión describen 6 métodos alternativos a los biológicos que se emplean actualmente para eliminar los contaminantes emergentes; entre los cuales se encuentran, el tratamiento por lodos activados, lagunas aireadas, secuenciador de Batch reactor, biorreactores de membrana, procesos fijos de películas y los tratamientos por biosólidos (p. 2041-2046).

Distintas investigaciones localizan uno o más contaminantes emergentes y tratan de reducir su concentración con los distintos métodos biológicos. Solis y Loza

(2019) investigaron al *Alicyclophilus* y su potencial biorremediación de xenobióticos. Con lo que, lograron indicar y demostrar el aporte significativo y sostenible de la bacteria *Alicyclophilus* en la biorremediación de xenobióticos al biodegradar solventes industriales, hidrocarburos aromáticos, barnices, etc.; además puede reducir al cromo VI en cromo III. Los investigadores hicieron un gran énfasis en la *Alicyclophilus* como una especie que se puede emplear en la depuración de aguas residuales alteradas por contaminantes emergentes (p.1643-1646).

Joshi, et al. (2018), estudiaron y pusieron en práctica el potencial encontrado en un biofloculante elaborado por *Bacillus licheniformis* NJ3 y empleado para el tratamiento de diferentes aguas residuales industriales alteradas en el procesamiento de productos farmacéuticos, pesticidas, petróleo y almidón. En una prueba experimental, el biofloculante tuvo una reducción de la turbidez (69 - 87%), reducción de la demanda química de oxígeno (50 - 80%) y reducción de petróleo (87%), por lo que la biorremediación por *Bacillus licheniformis* NJ3 es una alternativa ecológica y económica al no requerir de coagulantes y estabilizadores para la biorremediación de varias aguas residuales industriales. (p.1-3).

Vokovic, et al. (2019), tuvieron como objetivo investigar la reacción de la bioaumentación de cepas bacterianas autóctonas del proceso de lodos activados al tratar aguas residuales modificadas por contaminantes emergentes. La metodología que emplearon inició por el aislamiento y la identificación de dos cepas bacterianas (*Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas putida*), al aislar la cepa *P. Putida* y los lodos activados de un agente farmacéutico obtuvieron una eficiencia de 71,43%, porcentaje mayor en la eliminación de material orgánico disuelto en las aguas residuales farmacéuticas durante las 24 horas. Finalmente, el resultado porcentual les permitió concluir que la reacción que se da al asociar lodos activados con *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas putida* es eficaz en la biodegradación de las aguas residuales farmacéuticas de alta resistencia (p.2721-2723).

Los científicos Duarte, et al. (2018), Lograron asociar microorganismos propios de una urbanización y lodos activados de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para así lograr la biodegradación de paroxetina (fármaco antidepresivo) y de bezafibrate (agente reductor del colesterol), mediante la exposición de los microorganismos autóctonos a los productos farmacéuticos en 1 mg/L y a acetato de sodio a unos 500 mg/L, durante dos semanas y a condiciones establecidas en la incubación (agitación y estática). Después de dos semanas de incubación y al inició de la experimentación, el análisis se realizó mediante ARISA (Análisis Automatizado de la Región Espaciadora Intergénica Ribosomal), donde se tuvo como resultados una disminución de los productos farmacéuticos bajo la condición de agitación en condiciones estáticas. Con lo que al final de toda la experimentación se obtuvo una eliminación de fármacos del 97%, para ambas condiciones. Finalmente concluyeron que los microorganismos autóctonos en asociación a los lodos de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), son capaces de remover productos farmacéuticos (paroxetina y bezafibrate) en aguas y restaurar el ambiente (p. 797-799).

Fernández, et al. (2020), tuvieron como objetivo aislar e identificar cinco cepas bacterianas del género *Pseudomonas* y *Acinetobacter* y con el fin de poner a prueba la capacidad de estas cepas para biodegradar dos compuestos farmacéuticos, bezafibrato (Bzf) y paroxetina (Prx). Luego de aislar las bacterias de los cultivos con (Bzf) y (Prx), se inoculó sedimentos de estuario y lodo activado de una PTAR asociada. Al analizar los compuestos farmacéuticos con el detector de diodos (HPLC-DAD), se observó un óptimo porcentaje de eficiencia de eliminación de los productos farmacéuticos (> 97%) en tres placas del total (cinco inoculadas), demostrando la eficiencia de los microorganismos, especialmente, las bacterias del género *Pseudomonas*, en la biodegradación de los compuestos farmacéuticos (p.5 - 10).

Christofilopoulos, et al. (2019), se plantearon evaluar la capacidad que posee el halófito *Juncos acutus* como humedal artificial para la eliminación de los antibióticos, ciprofloxacina (CIP) y sulfametoxazol (SMX) a condiciones

controladas. La ubicación del humedal fue en la ciudad de Chania, donde se trasplantó cinco *J. Acutus*, alimentados con agua residual tratada y a los cuales se le incorporó ciprofloxacina, sulfametoxazol y bisfenolpoliclorido. A las 4 semanas, el humedal logro eliminar 76.2% y 93.9% de (CIP) y (SMX) respectivamente. Esta experimentación demostró que este tipo de humedales se comportan como sistemas terciarios de tratamiento de aguas residuales, removiendo gran cantidad de contaminantes emergentes (p.95-99)

También, tienen consigo sustancias químicamente toxicas que no pueden ser reguladas y que al estar presente en el ambiente lo altera negativamente. Además, aún se desconocen todos los efectos nocivos que los contaminantes emergentes puedan presentar en los ecosistemas (Magro, Mateus, Paz y Ribeiro, 2020, p.2). En la actualidad, los contaminantes emergentes no son regulados en los parámetros de calidad de agua.

Debido a la variedad de estos contaminantes los científicos los clasifican de esta manera:

Tabla 1: Clasificación de los contaminantes emergentes

CONTAMINANTE	FUENTE ORIGEN	EJEMPLO
Productos farmacéuticos	Excreta de heces y orina.	Ibuprofeno, carbamazapina, bezafibrato, atenolol, Cafeína
Antibióticos	Excreta de heces y orina	Eritromicina
productos para cuidado personal	Ducharse, afeitarse.	Galaxolida Benzofenona-3 Dietiltoluamida
Desinfectantes	Lavarse las manos, cepillarse los dientes.	Triclosán
Hormonas esteroides	Excreta de heces y orina	Estrona, Estradiol
Tensioactivos	Bañarse, lavar ropa o platos	Nonifenol
Pesticidas	Escorrentías	Atrazina, Diuron, Clotrimazol.
Productos químicos industriales	Lavandería, Lixiviación	Dietilhexil ftalato TCEP (tris (2-carboxietil) fosfina)

Fuente: (Amador y Loomis, 2018, p.230-232)

Nota: Los científicos Amador y Loomis clasificaron a los contaminantes emergentes de acuerdo con la categoría de origen

Debido a la presencia de estos contaminantes y la necesidad de buscar una solución se emplean métodos biológicos. Algunos de ellos están basados en la adsorción; los cuales retienen a los contaminantes en su biomaterial. Estudios demuestran un porcentaje de adsorción entre 50% al 99% (Patiño, Díaz y Ordoñez, 2016, p.1078).

Algunos materiales de biomasa son empleados para la eliminación de contaminantes emergentes debido a su alta adsorción; la remediación por biomasa se da por agentes derivados de microorganismos, plantas o animales (Chaker, Mahjoub, Mahjoub y Sillanpää, 2017, p. 11), como pueden ser la médula de coco, la paja de arroz y las heces de algunos animales. Una manera de subclasificarlos es por su proveniencia, terrestres, marinos o agroindustriales.

El carbón activado es muy efectivo para adsorber los contaminantes en general incluyendo a los emergentes, especialmente si se trata de compuestos aromáticos. Aunque el proceso de activación puede variar según el material que se está utilizando; en general, todos se caracterizan por poseer una gran cantidad de microporos capaces de retener a los contaminantes de un fluido (Flores, Garcéa y Dobado, 2017, p.77)

Otro material con capacidad adsorbente son los biopolímeros, estos son materiales alternativos para la remoción de emergentes y otros tipos de contaminantes, estos polímeros tienen una capacidad enzimática inmovilizadora que luego permiten degradar a los compuestos orgánicos e inorgánicos, incluyendo los compuestos peligrosos y los emergentes (Urbano, Bustamante, Palacio, Vera y Rivas, 2019, p.346).

Los biocompuestos son asociaciones de biomazas o sus derivados, los cuales; por lo general, presentan por lo menos dos asociaciones naturales; aunque en algunos casos puede ser un material orgánico y uno inorgánico; esto les permite desarrollar distintas adaptaciones y aplicaciones en distintos campos (Li, Wu, Luo y Liu, 2017, p.221).

La remoción por lodo activado es un método que emplea microorganismos aeróbicos para el tratamiento de aguas residuales; su mecanismo permite degradar la materia orgánica y convertirla en biomasa; además es posible degradar sustancias como el amonio y otros compuestos nitrogenados; puede presentar un alto porcentaje de adsorción ante compuestos como la amoxicilina, ampicilina y aminofén con un valor de 90% de efectividad; como también puede

presentar una adsorción del 0% frente a otros emergentes como la cabamazepina y el atenolol (Bell, et al, 2012, p.1913 - 1914).

También están los métodos de biorremediación, el cual es una tecnología sostenible que tiene la capacidad de reducir la carga de contaminantes en suelos y agua, empleando organismos biológicos (algas, microorganismos, etc). (Beevi, 2020, p. 21). Es referirse a la tecnología que aprovecha las virtudes de las plantas y de los organismos microscópicos para la eliminación, reducción, acumulación y la degradación de contaminantes en suelos y aguas (Chaker, Mahjoub, Mahjoub y Sillanpää, 2017, p. 11).

Entre los métodos de biorremediación, está la fitorremediación, o “remediación verde”. Esta técnica emplea plantas no digeribles para expeler contaminantes o simplemente convertir los contaminantes altamente ofensivos en el ambiente, en contaminantes inocuos. (Kamusoko y Muzondiwa, 2017, p. 5). Algunos de los submétodos de esta alternativa son, la fitodegradación, fitoextracción, fitoestabilización, fitovolatilización y la rizofiltración, los cuales ayudan a remodelar y recuperar los ecosistemas contaminados (Kamusoko y Muzondiwa, 2017, p. 6).

La fitorremediación, es una tecnología muy rentable para la remoción de diversos contaminantes (metales pesados, contaminantes emergentes, entre otros) en suelos y aguas (Chaker, Mahjoub, Mahjoub y Sillanpää, 2017, p. 11). Buena técnica de biorremediación para emergentes xenobióticos (paracetamol, diclofenaco e ibuprofeno). Sin embargo, presenta varios inconvenientes como la temperatura y las latitudes en las que se ejecuta la remediación (Esterhuizen y Schwartz, 2016, p. 2).

Ante los inconvenientes de la fitorremediación, una solución son los humedales artificiales; buena alternativa, debido a los resultados que han venido presentado en distintas aplicaciones para la eliminación de contaminantes emergentes; son áreas terrestres con condiciones controladas donde se regulan factores biológicos, físicos y químicos; por ejemplo, si se controla la aireación en estos

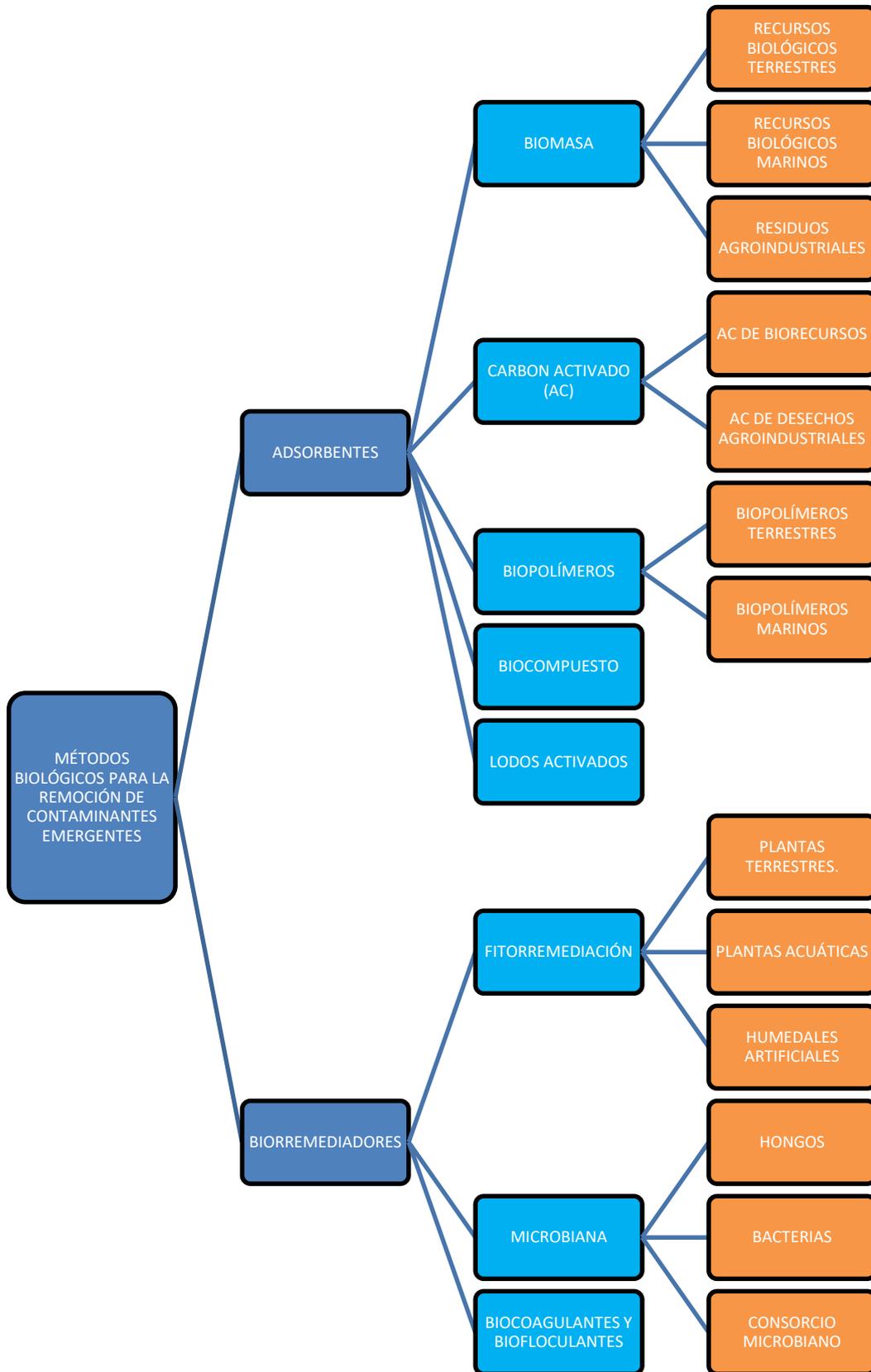
humedales se puede eliminar algunos antibióticos entre un 78 a 100% de su presencia (Bo, Shengen, Chang, Zhanfeng y Hongxiang, 2015, p.1875).

La capacidad microbiana, es otro método de biorremediación; organismos como los hongos, bacterias o consorcios microbianos resultan ser eficientes para la remoción de una gran variedad de emergentes. Su capacidad catalítica permite la utilización de cepas para la remoción de contaminantes como disruptores endocrinos, productos farmacéuticos y pesticidas. (Wu, Chen y Wei, 2019, p.445).

Una de las tecnologías más innovadora y efectiva en la remediación de cuerpos contaminados, es la biorremediación, empleando microalgas (*Chlorella sp.*, SL7A, *Chlorococcum sp.*, SL7B y *Neochloris sp.*, SK57), ya que crecen fácilmente en los cuerpos de agua y al remover contaminantes emergentes producen biomasa (Singh, A., & Ummalyima, S. B, 2020, p. 5).

También tenemos los agentes biocoagulantes y biofloculantes; los cuales son macromoléculas orgánicas capaces de captar distintos contaminantes suspendidos, incluyendo a los emergentes, estos pueden provenir de distintos organismos ya sean bacterias, hongos, levaduras entre otros que producen polisacáridos, proteínas, ácidos nucleico o lípidos. Un ejemplo de coagulante es la semilla de moringa (Joshi, Rathod, Vyas, Kumar, y Mody, 2018, p.1).

Figura1: métodos biológicos para la remoción de contaminantes emergentes.



Fuente: Elaboración propia

El esquema presenta los métodos biológicos que se emplean actualmente en la remoción de contaminantes emergentes; los cuales se separan de acuerdo con su capacidad adsorbente y remediadora; estos métodos están clasificados en: biomasa, carbón activado, biopolímeros, biocompuestos, lodos activados, fitorremediación, microremediación y biocoagulantes y biofloculantes; a su vez se señalan algunos submétodos más destacables como la biomasa por recursos biológicos, residuos industriales; el carbón activado proveniente de los biorecursos o los desechos agroindustriales; los biopolímeros ya sean terrestres o marinos; las fitorremediación por plantas, y humedales artificiales y la remediación microbiana de los hongos, bacterias y consorcios microbiana (Chaker, C. Mahjoub, B. Mahjoub y Sillanpää, 2017, p.2-21)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es de tipo aplicado con enfoque cualitativo. Esta investigación cualitativa es un proceso en el que se definen de forma constante todas las decisiones y opciones metodológicas en el trayecto de la investigación. (Herrera et al, 2015, p. 4). La investigación del tipo aplicativo es aquella que tiene como finalidad usar las teorías y los conocimientos para crear modelos que puedan usarse o predecir fenómenos a suceder (Gutiérrez, 2015, p.89). La investigación es del tipo aplicado porque es práctica y busca constituir una metodología para la selección de un método específico para el tratamiento de los contaminantes que se mencionan en el estudio, aplica el conocimiento en la realidad para mejorar las tecnologías. El diseño de la investigación es un diseño cualitativo narrativo de tópicos. Un diseño narrativo de tópicos es aquel que está enfocado en una temática narrativa descriptiva, suceso o fenómeno específico, del cual se sintetizara toda la información recopilada. (Díaz, 2019, p.32). El diseño cualitativo narrativo prioriza reconstruir desde los primeros hechos hasta los últimos, para después narrarlos en relación a su óptica para describir en base a evidencia disponible para así identificar categorías y temas emergentes en los

datos narrativos que provienen de los participantes, los documentos, materiales y la propia narración del investigador (Salgado, 2017, p. 73). Esta investigación cumple relación con el diseño del tipo narrativo de Díaz y Salgado, sobre la estructuración de los hechos o la temática, en función a una línea de tiempo progresiva, además se busca aplicar el conocimiento resultante de la pregunta general de la investigación, para facilitar otras revisiones sistemáticas sobre métodos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN APRIORÍSTICA

Título: Revisión sistemática: métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales.

Objetivo General: Determinar y entender los métodos biológicos a través de los cuales, se eliminan los contaminantes emergentes en aguas residuales.

Tabla 2: *Matriz de Categorización Apriorística.*

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
¿Cuáles son los organismos biológicos y cuál es la clasificación de estos organismos, actúan en los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales?	Describir los tipos de organismos biológicos y su clasificación, que actúan en los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales	Tipos de microorganismos para eliminación de contaminantes emergentes (Silva-Bedoya, 2016, p.316)	Anaerobios (Ghangrekar et al, 2020, p.235) Aerobios (Clemente et al, 2014, p. 96)	Por los contaminantes emergentes que degradan	Por el tiempo que demoran en degradar los contaminantes	Por sus características comunes
¿Cuáles son los contaminantes emergentes presentes en aguas residuales?	Detallar los contaminantes emergentes presentes en aguas residuales	Los contaminantes emergentes en aguas residuales (Ghangrekar et al, 2020, p. 240 - p. 248) (Sheve et al, 2016, p.132)	-Productos farmacéuticos -Antibióticos y productos de cuidado personal -Desinfectantes -Hormonas esteroides y Tensioactivos -Pesticidas - Productos químicos industriales	Por su toxicidad	Por su origen	Por sus efectos sobre el medioambiente

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
¿Cuáles son las tecnologías existentes de tratamiento de aguas residuales, que más se adecuen a los procesos de remoción biológica?	Encontrar la manera de adecuar las tecnologías existentes de tratamientos de aguas residuales en procesos de remoción biológica	Tipos de Planta de tratamiento de aguas residuales	Plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo aeróbico anaeróbico	Por su infraestructura a condición de operación	Por su adaptabilidad al cambio, incluye capacitación de personal	Por sus costos de operación

3.3. Escenario

El escenario de esta investigación narrativa de tópicos son las plantas de tratamiento de aguas residuales, centro de investigación y laboratorios de universidades relacionados al tratamiento de aguas residuales o experimentos sobre métodos biológicos relacionados a mejora en la calidad de las fuentes hídricas disponibles, sobre el cual se realizó tratamientos de contaminantes emergentes generalmente conformados por fármacos, pesticidas y entre otros agentes. Además, un escenario de investigación es aquel que ofrece posibilidades para realizar investigaciones y representa un ambiente donde se realiza el fenómeno que se está investigando (Skovsmose, 2012, p. 110).

3.4. Participantes

Los participantes de esta investigación son los artículos científicos publicados en revistas científicas internacionales que tratan sobre métodos biológicos para eliminar contaminantes emergentes en aguas residuales. Los participantes se conforman por artículos científicos digitales de indizaciones como: Publimed, Ebsco, Web Of Science, Sciencedirect, Proquest, Scopus, Csic, Research Gate, etc. Estos participantes deben cumplir dichos requisitos como: presentar un periodo de antigüedad no mayor a 4 años, además deben contener información precisa sobre métodos relacionados a lodos, microorganismos, sustancias o medios con los que se eliminan contaminantes emergentes de las aguas residuales. El número de participantes en la investigación son aquellos que presentan una similitud como una característica de interés en la investigación (Ramos, 2015, p. 12).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica usada es documental. La investigación documental, es una investigación desde la cual podemos obtener conocimiento en conjunto a un objetivo de estudio en un determinado tiempo (Barbosa et al, 2013, p. 89). Ya que se hará el análisis de la narrativa de documentos, que en este caso corresponden a artículos científicos, ya que “existen técnicas variadas en la investigación cualitativa que pueden ser utilizadas en concordancia con la finalidad del estudio, entre ellas la etnografía basada en la observación, más o menos participante, más o menos prolongada” (Hamui, 2016, p. 4) y utilizamos como instrumentos de recolección de datos una forma de ficha de investigación. Un instrumento de recolección de datos cualitativos es aquel que se define como una herramienta para la obtención de datos primordiales para la investigación (Troncoso & Amaya, 2017, p. 332). El cual debe contener los siguientes datos: problemas, objetivos, categorías, subcategorías, autores, resultados, conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones en base a esta revisión sistemática. Esta ficha de recolección de datos de los artículos revisados brinda una mayor facilidad para el análisis de las categorías y subcategorías. Adjuntamos la **ficha N°1, como anexo 1.**

3.6. Procedimiento

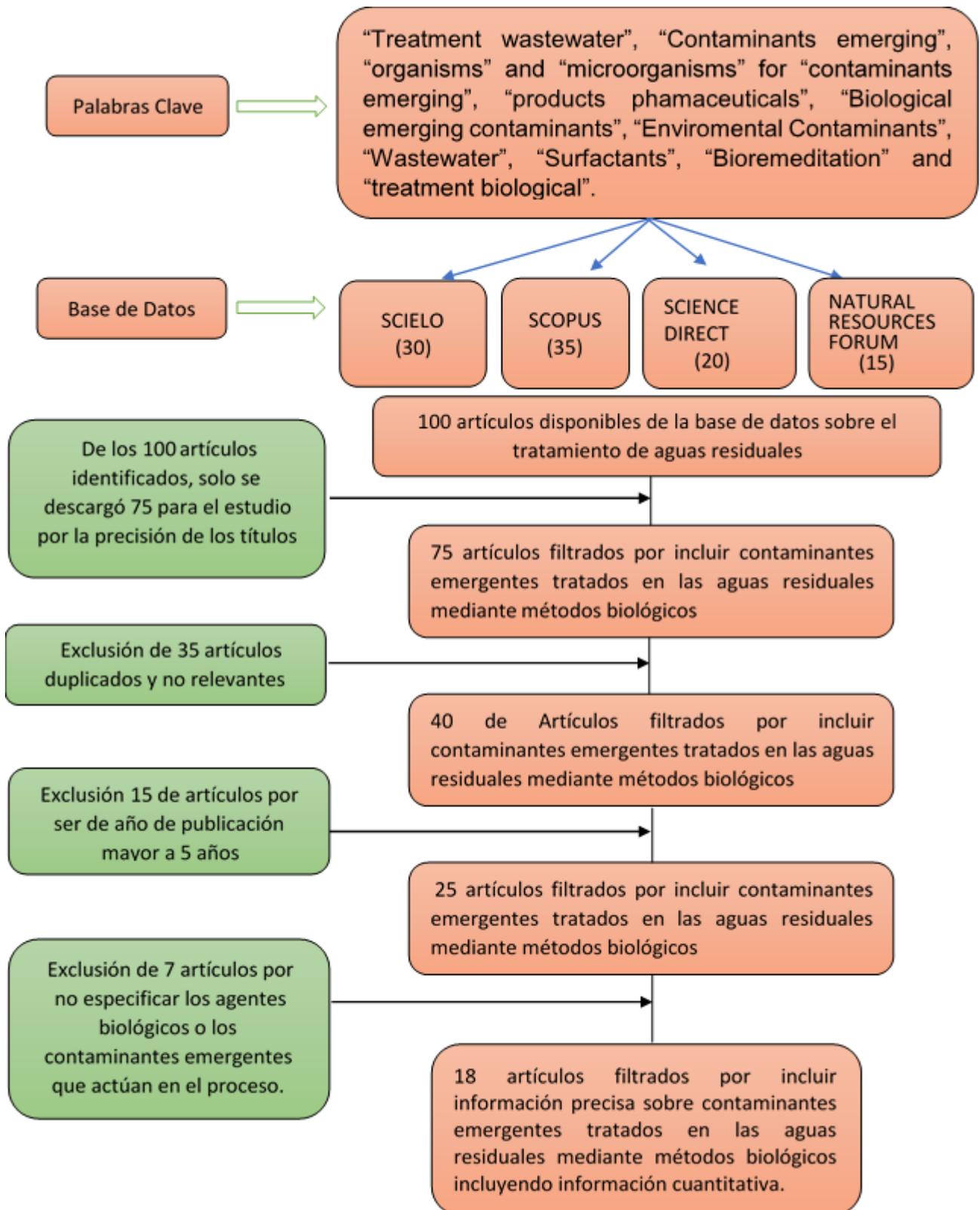
El procedimiento realizado en la investigación incluye el modo de recolección de información, la categorización y subcategorización, la aplicación de intervenciones como inclusión y exclusión, el proceso de triangulación de la información a analizarse. Es por dicha razón que se realizó una revisión sobre una predeterminada cantidad de artículos de revistas indexadas, investigaciones publicadas de forma online en servidores de alta confiabilidad, exceptuando las investigaciones de universidades, pero si se consideró la información estadística provenientes de instituciones públicas, etc. Por ello se trabajó con

criterios para poder realizar en distintas etapas, pasos o métodos que permitirán procesar correctamente los artículos, empezando por las búsquedas de determinadas palabras clave en bases de datos académicas como Scielo, Web of Science, EBSCO, Proquest, Google Académico, etc.

Además, se consideró una antigüedad no mayor a cinco años preferentemente y dependiente de la temática, así como el uso de palabras clave en idioma inglés, portugués, español, turco, iraní, chino, etc., ya que dependiendo de la naturaleza de la investigación que se está realizando. Se usó palabras claves Como: “Treatment wastewater”, “Contaminants emerging”, “organisms” and “microorganisms” for “contaminants emerging”, “products phamaceuticals”, “Biological emerging contaminants”, “Enviromental Contaminants”, “Wastewater”, “Surfactants”, “Bioremeditation” and “treatment biological”.

Se utilizó una tabla resumen de los documentos utilizados considerando los criterios de inclusión y los criterios de exclusión, tal como aparece en la siguiente tabla:

Figura 2: flujograma del procedimiento para determinar el n final según los criterios de inclusión.



3.7. Rigor científico

Para las condiciones del rigor científico de la investigación existen 4 aspectos como: la dependencia, la credibilidad, la transferibilidad y la auditabilidad. La dependencia es el nivel que los diferentes investigadores usan para recolectar datos similares en el campo de la investigación, para que se efectúen los análisis respectivos para generar resultados equivalentes. El criterio de dependencia implica el nivel de consistencia de los resultados y hallazgos de la investigación (Suarez, 2007, p. 650). La dependencia además estableció la complejidad del estudio cualitativo, y complica la estabilidad de los datos que se describirán (Rojas y Osorio, 2017, p. 71). Existen dos tipos de dependencia, la interna y la externa. En dichos casos, este grado se expresa por un coeficiente, por ello se verifico la sistematización en el proceso de recolección y el análisis cualitativo de la investigación. La investigación cumple con el criterio de dependencia al presentar consistencia en los datos con relación a investigaciones de aguas residuales. La credibilidad de la investigación se determinó por muchos aspectos que van desde la calidad del diseño investigativo hasta la coherencia narrativa de los resultados (Bedregal et al, 2017, p. 375). La credibilidad nos exige que se usen factores con la fiabilidad y la validez del diseño, de métodos, de instrumentos y de la recogida de datos. Estas reglas han derivado de un modelo científico experimental con una sólida base estadística, cuyo fundamento filosófico es el positivismo. (Varela & Vives, 2016, p. 192). La investigación cumple con el criterio de credibilidad al mantener una coherencia textual sobre la temática de los métodos biológicos por el uso de instrumentos de fiabilidad como la ficha de recolección de datos. La transferibilidad se refiere al grado de aplicación o de validez externa que posee el estudio, es decir a la replicación del estudio sobre otros grupos, poblaciones o escenarios similares (Corral, 2017, p. 199). Sin embargo, en la transferibilidad los resultados derivados de la investigación cualitativa

no se pueden generalizar sino solo transferir (Rojas & Osorio, 2017, p. 71). La transferibilidad dice la posibilidad de ampliar los resultados de la revisión hacia otras generalizaciones. Por ello en la investigación cualitativa, se busca transferir los resultados obtenidos a un contexto diferente del estudio. Por lo tanto, el grado de transferibilidad de una revisión es un método de la igualdad entre contextos de investigación similares. La investigación cumple con el criterio de transferibilidad al tener la capacidad de generalizar los resultados de la revisión sistemática con otros estudios similares o que involucren tratamientos de aguas por métodos biológicos. El último criterio del rigor científico es la auditabilidad, el cual es la habilidad o capacidad de otro investigador de guiarse sobre las ideas que el investigador original ha realizado sobre la investigación. La auditabilidad consiste en la capacidad que otro investigador debe seguir la ruta de investigación utilizada por el autor de la investigación original y pueda llegar a conclusiones muy similares (Noreña et al, 2012, p. 268). Por último, la investigación cumple con el criterio de auditabilidad al mantener la orientación de investigación sobre la descripción clara y precisa de los métodos para el tratamiento de aguas contaminadas con contaminantes emergentes como fármacos y pesticidas, mencionando agentes biológicos específicos para dicho tratamiento. Los resultados de la investigación deben sustentar la veracidad de las descripciones hechas por los participantes (Rojas & Osorio, 2017, p. 71). Mientras que, como limitaciones a la revisión sistemática, encontramos la dificultad de mantener actualizadas las revisiones, ya que el no hacerlo afecta a la precisión de la investigación y la utilidad de la revisión.

3.8. Método de análisis de datos

Para analizar nuestros datos provenientes de los artículos hemos tenido que categorizar los aspectos específicos más importantes de la temática. Nominamos a las categorías como microorganismos y organismos, especificando a ellos como *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Trametes Versicolor*, *Pseudomonas putida*; Tipos de microorganismos, los que según sus subcategorías se nominan en aerobios y anaerobios, que son aquellos que necesitan y no necesitan oxígeno; Y los contaminantes emergentes como farmacéuticos en general, descontaminantes como triclosán y pesticidas como principales contaminantes, toda esta subdivisión se realizó para establecer una respuesta más precisa y generalizable. Para analizar las categorías y subcategorías decidimos establecer criterios para analizar la información extraída, mediante decisiones como evaluación de los artículos según su fuente u origen.

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se usaron en la revisión sistemática son aquellos que nos van a permitir identificar a los autores de los artículos científicos indizados, para conseguir una alta validez del contenido de la investigación. Para poder realizar ello se tienen que citar correctamente las referencias bibliográficas en formato ISO 690-2, se cumplirá con el código de ética de la UCV -2020, en toda instancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 3: Resultados de artículos sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Singh, Ummalyma y Sahoo, (2020)	Biorremediación y producción de biomasa del cultivo de microalgas en aguas de río contaminadas con efluentes farmacéuticos.	India	FITORREMEDIACIÓN (POR ALGAS)	Microalgas -Chlorella sp -Chlorococcum sp. -Neochloris sp.	-farmacéuticos	-Se pueden aplicar las microalgas en los ríos para una remediación.
Dao, et al, (2019)	Detección de hongos de podredumbre blanca para el potencial de biorremediación de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-pags-dioxina	Amsterdam, Países Bajos	MICROBIANA (Hongos)	Hongos ligninolíticos -Rigidoporus vinctus	2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina	Se debe tratar el agua durante 28 días para que el Rigidoporus vinctus reduzca al contaminante
Aissaoui, Ouled, Sifour, Beggah y Benhamada (2017)	Eliminación biológica de los productos farmacéuticos mixtos: diclofenaco, ibuprofeno y sulfametoxazol utilizando un consorcio bacteriano	Irán	MICROBIANA (Hongos)	-Enterobacter hormaechei -Citrobacter youngae -Arthrobacter nicotianae -Pseudomonas sp	Farmacéuticos -sulfonamida -Amoxicilina -Penicilina G -Ampicilina -Trimetoprima Sulfametoxazol -Eritromicina	Los hongos pueden ser extraídos de los lodos activados. Por lo que se puede emplear como un post tratamiento de un PTAR

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Joshi, et al, (2018)	Eliminación de múltiples contaminantes de aguas residuales industriales utilizando una novela bioflor producida por <i>Bacillus licheniformis</i> NJ3	Bhavnagar, India	MICROBIANA (bacteria)	<i>Bacillus licheniformis</i> NJ3	Antibióticos: Troleandomicina rifamicina SV, minociclina, lincomicina, vancomicina	Se puede extraer de los lodos, a través del aislamiento de bacterias y se aplicaría en cualquier tratamiento previo.
Cruz, et al, (2017)	Eliminación de compuestos farmacéuticos de las aguas residuales urbanas mediante un proceso avanzado de biooxidación basado en hongos. <i>Trametes versicolor</i> .	Alemania	MICROBIANA Hongos (Biooxidación avanzada)	<i>Trametes versicolor</i>	-terapéuticos -antipirina -ácido clofibrico -atenolol -cafeína -carbamazepina -diclofenaco -gemfibrozilo -hidroclorotiazida -ibuprofeno -ranitidina -sulfametoxazol -sulpirida	Se necesita habilitar un biorreactor para su tratamiento
Dosoretz, 2019	Eliminación de contaminantes de preocupación emergente del agua residual	Israel	Absorbentes biocompuestos	compuestos de quitosano	-Metformina -Acridona -Ibuprofeno -Cetoprofeno -Cetoprofeno	Esta técnica tiene pequeñas huellas de plantas y elimina contaminantes orgánicos e inorgánicos

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Kamusoko y Muzondiwa (2017)	Utilidad de la jatropha para la fitorremediación de metales pesados y contaminantes emergentes de los recursos hídricos: una revisión	Bhavnagar, India	FITORREMEDIA CION	Jatropha curcas L.	octahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocina (HMX)	En estas técnicas de fitorremediación se engloba técnicas de rizo filtración, Fito estabilización, Fito extracción, biodegradación y Fito volatilización.
Chaker, Mahjoub y Mahjoub (2017)	Remediación de contaminantes emergentes en aguas residuales contaminadas y ambientes acuáticos: a base de biomasa	Mikkeli, Finlandia	BIOMASA (RECURSO BIOLÓGICO TERRESTRE)	(Quercus suber),	ofloxacina, fluoroquinolona	El empleo 40 mallas redujo 38mg g ⁻¹ , es necesario mantener un pH 9 para un tratamiento eficiente.
Carmalin y Lima (2017)	Eliminación de contaminantes emergentes del medio ambiente por adsorción.	Porto Alegre, RS, Brasil	ADSORBENTE (CARBÓN ACTIVADO (AC))	desechos de café, serrín de eucalipto, aceite de soja	17 α -etinilestradiol (EE2) y 17 β -estradiol(E2) disruptores endocrinos	El estudio demuestra la eficiencia de adsorción, además sugiere la pirólisis (800°) como fuente de obtención del AC

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Mailler (2016)	Eliminación de una amplia gama de contaminantes emergentes de las aguas residuales vertidos de depuradora por carbón activado micro granular en fluidizado cama como tratamiento terciario a gran escala piloto	Francia	ADSORBENTE (CARBON ACTIVADO)	Lecho fluidizado que opera con uGAC	productos farmacéuticos y hormonas	La tecnología empleada, μ GAC permite obtener rendimientos comparables en una misma dosis de carbón activado fresco
Nihan y Ouml, et al (2016)	Eliminación de productos farmacéuticos en un humedal artificial	Bursa, Turquía	(BIORREMEDIA DORES) FITORREMEDIA CION	Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex. Steudel	carbamazepina, ibuprofeno, sulfadiazina	Las eficiencias de eliminación de carbamazepina, ibuprofeno y sulfadiazina para los reactores plantados y no plantados fueron 89,23% y 95,94%, 89,50% y 94,73%, y 67,20% y 93,68%, respectivamente.
Lancheros, et al (2019)	Eliminación de ibuprofeno y naproxeno de las aguas residuales domésticas mediante un humedal construido de flujo subterráneo horizontal acoplado a la ozonización	Cali, Colombia	BIORREMEDIA DORES FITORREMEDIA CION	Cyperus ligularis y	ibuprofeno y el naproxeno	La eficiencia de remoción total promedió 97.2% y \geq 97.3% para ibuprofeno y naproxeno respectivamente

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Avila, et al (2015)	Eliminación de contaminantes orgánicos emergentes en un sistema de humedales construido híbrido a gran escala para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales	Barcelona, España	BIORREMEDIA- D ORES Fitorremediación	Phragmites australis	productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y disruptores endocrinos	El sistema híbrido de humedales artificiales (CW) a gran escala basado en tres etapas de diferentes configuraciones de humedales demostró ser una ecotecnología muy sólida para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales domésticas en comunidades pequeñas.
Bittencourt, Mansur, Monte y Rodríguez, (2016)	Sorción de contaminantes orgánicos emergentes en lodos de depuradora	Brasil	ADSORVENTES Lodos activados	Bacterias y microorganismos propios de los lodos primarios, secundarios y digeridos.	Hormonas, farmacéuticos, surfactantes, retardadores de llantas, etc.	Se deben convertir los lodos residuales de los PTAR
Coromoto, Madrigal, Romero y Guzmán, (2019)	Nanomateriales celulósicos para la adsorción de contaminantes emergentes	Colombia – Nivel laboratorio	ADSORCIÓN BIOPOLÍMERO celulosa	membranas nano celulosas de TEMPO y agave	Ciprofloxacina	Se debe obtener la nano celulosa por oxidación, para un tratamiento terciario de las aguas

AUTOR Y AÑO	ARTÍCULO	LUGAR	Métodos biológicos para la remoción de contaminantes	Organismos biológicos que actúan en el proceso	Contaminantes emergentes que se eliminan	Forma de aplicación de los métodos biológicos
Golveia, Bara, Santiago, Campos y Schimidt, (2020)	Residuo agroindustrial del cacao (<i>Theobroma cacao</i>) como inductor de la producción de lacasa fúngica y ácido kójico para su aplicación en la biodegradación de 17- α -etinilestradiol	Brasil	ADSORCIÓN BIOMASA	Residuo agroindustrial del cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	17- α -etinilestradiol	A partir de estos residuos se debe obtener un hongo cultivado durante 7 días a 28°C agitados a 150 rpm.
Patiño, Díaz y Ordóñez, (2016)	Concentración previa de micro contaminantes utilizando ciclos de adsorción-desorción: aplicación a clorados parafinas y derivados de alquil-fenol	Oviedo – España	ADSORCIÓN por Carbón Activado	Carbón Activado, nanotubos de carbono de paredes múltiples y grafito de alta superficie.	Parafinas cloradas y derivados de alquil-fenol	Los materiales pasaron por un proceso de secado a 100°C durante 24 h y un fraccionamiento entre 250 y 355 μ m
García, Gutiérrez y Baltazar, (2019)	Evaluación de un <i>Ficus benjamina</i> biofiltro aireado a base de virutas de madera utilizado para la eliminación de metformina y ciprofloxacina durante el tratamiento de aguas residuales domésticas	México	BIOMASA BIOFILTROS AIREADOS	<i>Ficus benjamina</i>	Metformina y Ciprofloxacina	Se debe empaquetar un filtro aireado con viruta de madera de <i>Ficus benjamina</i>

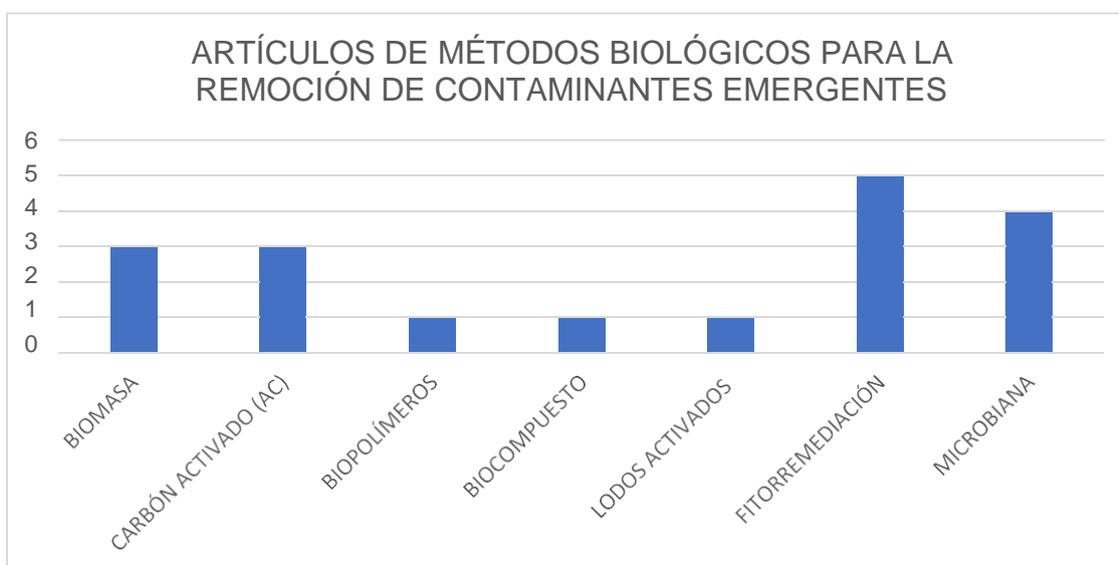
Entre los resultados más destacable se puede destacar que entre los métodos más empleados en la remoción de contaminantes emergentes están la fitorremediación de distintas plantas, el uso de lodos residuales provenientes de los PTAR, el uso de microorganismos bacteriológicos y la adsorción por biomasa; aunque el uso del carbón activado, de acuerdo con los autores Patiño, Díaz y Ordoñez (2016), alcanzaron una filtración del 100% con el carbón activado a los 35°C (p. 24); mientras que, de acuerdo con los autores García Gutiérrez y Baltazar (2019) los filtros aireados solo alcanzó una remoción del entre el 46 y 50% para el Ciprofloxacino y entre un 19 y 23% para la retención de metformina; aunque a su vez se logró disminuir la concentración de otros contaminantes, como el DQO al 91,5% y los nitritos y nitratos al 95,2% (p.1875); a pesar de que este método está en tendencia por la gran variedad de plantas disponibles, deberían aplicarse nuevas técnicas con los elementos de mayor disponibilidad, tanto en volumen como en aspectos económicos.

Por otro lado, podemos destacar que la gran mayoría de contaminantes emergentes pueden ser removidos con gran efectividad dependiendo del método y técnica empleados; por ejemplo, los productos farmacéuticos, que son los más estudiados y para los que mayor cantidad de tratamientos se proponen, los elementos como el ibuprofeno, la aspirina, etc. Son tratados con métodos de fitorremediación o por absorción. Mientras que, para los contaminantes encontrados en los PTAR como los productos de cuidado personal, hormonas, antibióticos, tensioactivos, etc. Podrían ser tratados con los mismos lodos residuales generado en estas plantas de tratamiento. A diferencia de los contaminantes de origen industrial, los cuales, de acuerdo con la información disponible, en su mayoría son tratados con microorganismos microbianos y bacteriológicos.

Tabla 4: Cantidad de artículos encontrados sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes.

MÉTODOS BIOLÓGICOS	CANTIDAD ARTÍCULOS ENCONTRADOS
CARBÓN ACTIVADO (AC)	3
BIOPOLÍMEROS	1
BIOCOMPUESTO	1
LODOS ACTIVADOS	1
FITORREMEDIACIÓN	5
MICROBIANA	4
TOTAL	18

Figura 3: Cantidad de artículos encontrados sobre métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes.



Durante la investigación se pudieron recopilar un total de 18 artículos científicos donde se emplean algún método de remoción de contaminantes emergentes empleando métodos biológicos. Siendo la fitorremediación el método de mayor recurrencia con un total de 5 artículos encontrados; Singh, Ummalyma y Sahoo,

(2020); Kamusoko y Muzondiwa (2017); Nihan y Ouml, et al (2016); Lancheros, et al (2019) y Avila, et al (2015).

Otro tipo de estudios que se ha podido recopilar en gran frecuencia, son los métodos microbianos; habiendo encontrado un total de 4 artículos científicos; Dao, et al, (2019); Aissaoui, Ouled, Sifour, Beggah y Benhamada (2017); Joshi, et al, (2018); Cruz, et al, (2017).

Por otro lado, se encontraron 3 artículos para los métodos de biomasa; García, Gutiérrez y Baltazar, (2019); Golveia, Bara, Santiago, Campos y Schmidt, (2020); Chaker, Mahjoub y Mahjoub (2017), y 3 artículos para el método de carbón activado; Patiño, Díaz y Ordóñez, (2016); Mailler (2016); Carmalin y Lima (2017).

Los métodos menos investigados que se han podido recopilar en esta revisión habiendo hallado 1 artículo, son los métodos biológicos por biopolímero, Coromoto, Madrigal, Romero y Guzmán, (2019). Los biocompuestos, Dosoretz, (2019). Y, el método de remediación por lodos activados, Bittencourt, Mansur, Monte y Rodríguez, (2016).

La clasificación de los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes, de esta investigación, se contrastó con otras revisiones sistemáticas disponibles en los buscadores científicos (mencionadas en el punto 3.6. procedimientos). Con lo cual, se enmarcaron algunas diferencias; Bell, et al, (2012), en su revisión sobre tratamiento de contaminantes emergentes clasifican a los humedales artificiales, los lodos activados, biorreactor por membranas y biofiltración como métodos biológicos (p.1911-1917), estos dos últimos métodos mencionados encajarían con la forma de acción de los biocompuestos y biopolímeros; además, consideran a los humedales artificiales como un método, a diferencia de esta revisión que lo clasifica como un submétodo de la fitorremediación; por otro lado, se excluyen o no se hace mención a los métodos por biomasa y remediación microbiana.

Los autores Keen, et al, (2014) realizaron una clasificación para los tratamientos para contaminantes emergentes, separando como métodos biológicos: los lodos

activados, lagunas aireadas, reactor de secuenciación por lotes, biorreactores por membranas, procesos de película fija y tratamiento de biosólidos; dejando como otra categoría a los humedales artificiales denominado sistemas naturales mejorados (p. 2036-2046). Aunque, los métodos señalados son consistentes con esta revisión; se puede notar una diferencia en la exclusión del humedal artificial encasillado en otra categoría; a diferencia de esta investigación que consideró al humedal artificial como parte de la fitorremediación y no como un proceso aparte de los métodos biológicos.

Entre las revisiones comparadas se pudieron hallar investigaciones de los mismos autores, pero en diferentes años, Bo, Zhang y Chang (2019) han realizado diversas revisiones con diferentes criterios sobre el tratamiento de contaminantes emergentes; mencionando como métodos biológicos a los lodos activados, biorreactor por membrana, compostaje y fitorremediación; por otro lado, no consideran a los humedales artificiales como un método biológico, si no como uno independiente (p.1391-1392). Sin embargo, los mismos autores han excluido algunos métodos de sus revisiones anteriores; el secuenciador de Bach y los procesos de películas fijas (Bo, et al, 2015, p.1876-1879). Tomando en cuenta el aporte más actual de los autores podemos encontrar similitud entre método de biorreactor por membrana con los biopolímeros y el compostaje con la biomasa; sin embargo, en esta revisión si se consideran a los humedales artificiales como un método biológico.

Una mayor similitud con los resultados de esta revisión se pueden encontrar en la clasificación propuesta por Chaker, Mahjoub B., Mahjoub O. y Sillanpaa (2017) en el cual se consideran a los métodos biológicos por su forma de acción, absorción y biorremediación; en el primero tenemos las biomasas (terrestres, marinas y agroindustriales), carbón activado (de biorecursos y agroindustriales), biopolímero (terrestres y marinos), biocompuestos y lodos activados; mientras que en el segundo se describen a la fitorremediación (plantas terrestres, acuáticas y humedales artificiales), remediación microbiana (hongos, bacterias y consorcio microbiano) y biocoagulantes y biofloculantes (p.3-16).

Entre los contaminantes emergentes tratados encontramos que están en mayor frecuencia los de origen farmacéutico y los de cuidado personal; mientras que, al tratarse de estudios sobre aguas residuales generales se encontró poca evidencia de la aplicación de estos métodos biológicos para contaminantes emergentes de pesticidas y productos químicos industriales; de hecho, fueron productos que no se encontró evidencia de sus estudios mediante métodos biológicos para su tratamiento.

La generación de contaminantes emergentes en el sector agrícola sugiere altas concentraciones; Sin embargo, no se encontró evidencia de algún método biológicos enfocado en las aguas utilizadas en la agricultura; aunque, Singh, Ummalyama y Sahoo, (2020) sugieren que el método de fitorremediación por microalgas puede ser aplicados en ríos para una remediación; a pesar de que, su investigación se basó en la reducción de contaminantes de origen farmacéutico también está la hipótesis de que este método biológico pueda ser eficiente para la eliminación de contaminantes emergentes de pesticidas y agroindustriales.

Por otro lado, los agentes biológicos empleados en los tratamientos son muy diversos; aunque, en su mayoría se están utilizando plantas vivas, materia orgánica vegetal y residuos agroindustriales vegetales, todos de origen terrestres. Para poder realizar una comparación entre la eficiencia de los organismos biológicos empleados en los tratamientos de aguas residuales se deberían concretar más estudios empleando organismos acuáticos. Por lo que solo se podrían mencionar los agentes empleados, mas no poder comparar los tratamientos bajo una perspectiva del rendimiento y efectividad.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con las fuentes encontradas se concluyó que los métodos biológicos para la eliminación de contaminantes emergentes, en orden descendente a la cantidad de artículos encontrados son, la fitorremediación, remediación microbiana, biomasa, carbón activado, biocompuestos, biopolímeros y lodos activados.

Los organismos biológicos que actúan en las remediaciones de las aguas residuales pueden ser agentes vivos o residuos; pero todos de naturaleza orgánica; entre las cuales tenemos los residuos terrestres, residuos marinos, residuos agroindustriales, plantas terrestres, plantas acuáticas, humedales artificiales, hongos, bacterias y consorcios microbianos.

Los contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales provienen de distintas fuentes; entre las cuales se desatacan principalmente por su origen los productos farmacéuticos, antibióticos, productos para cuidado personal, desinfectantes, hormonas esteroides, tensioactivos, pesticidas y productos químicos industriales. Entre los cuales, los productos farmacéuticos son los más estudiados debido a la mayor recurrencia de estos.

La manera de aplicación de estos agentes biológicos son mediante métodos que se vienen desarrollando y perfeccionando en distintos tratamientos de aguas residuales ya sea en campo o laboratorios. Para lo cual, se deben adecuar las condiciones necesarias (pH, temperatura, tiempo de aplicación, concentraciones, etc.) para obtener una mayor eficacia en los tratamientos. Aunque, esto podría representar gastos o dificultades al tratar grandes volúmenes de aguas residuales; sin embargo, debido a la gran variedad de agentes biológicos disponibles, se podrían encontrar el método y el agente biológico más factible que se adapte a las condiciones de operación de las plantas de tratamientos de aguas residuales.

VI. RECOMENDACIONES

Durante la investigación se tuvo la dificultad de clasificar los artículos según el método biológico aplicado; Ya que, algunos mencionan el tratamiento y no el método; por lo que es necesario clasificar previamente todos los métodos biológicos existentes haciendo referencia a los agentes biológicos que intervienen en el proceso.

Debido a los criterios de exclusión hubo métodos que ya no se encontraron en los artículos, pero si en las revisiones sistemáticas. Por lo que, se sugiere a futuras investigaciones tener en cuenta las tecnologías que se vienen tomando mayor influencia y aceptación por parte de la comunidad científica, como son el uso del reactor de Bach, el cual se aplica con lodos, las lagunas aireadas, el proceso de películas fijas, entre otros.

A pesar de haber algunos agentes biológicos que son estudiados en mayor frecuencia; también, es importante reconocer y dar como alternativa el uso de agentes menos estudiados, como son los residuos agroindustriales; esto se debe a la viabilidad económica (criterio que no fue considerado en esta revisión) y la factibilidad para ser empleados por distintas empresas. Por otro lado, se recomienda ampliar las investigaciones sobre métodos de coagulantes y floculantes. Y, sobre todo el uso de lodos activados, que debería ser un método de mayor estudio, debido a la gran cantidad de lodos que las mismas plantas de tratamiento de aguas residuales generan.

Por último, al igual que los métodos biológicos para el tratamiento de contaminantes emergentes; también se pudieron encontrar métodos mixtos (descartados por los criterios de exclusión), los cuales se pudo rescatar que presentan una alta tasa de efectividad para la remoción de estos contaminantes. Por lo que, sería factible realizar investigaciones y revisiones sobre métodos mixtos para la eliminación de contaminantes emergentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amador, J., & Loomis, G. (2019). Fate of Emerging Pollutants. *Soil-based Wastewater Treatment*, 229-266. <https://doi.org/10.2134/sbwtreatment.c8>
- Bell, K. Y., Bandy, J., Beck, S., Keen, O., Kolankowsky, N., Parker, A. M., & Linden, K. (2012). Emerging Pollutants – Part II: Treatment. *Water*
- Bittencourt, S., Aisse, M. M., Serrat, B. M., & Azevedo, J. C. R. (2016). Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(1), 43-53. <https://doi.org/10.1590/s1413-41520201600100119334>
- Bo, L., Shengen, Z., & Chang, C.-C. (2017). Emerging Pollutants – Part II: Treatment. *Water Environment Research*, 89(10), 1829-1865. <https://doi.org/10.2175/106143017x15023776270674>
- Bo, L., Shengen, Z., Chang, C.-C., Zhanfeng, D., & Hongxiang, L. (2015). Emerging Pollutants - Part II: Treatment. *Water Environment Research*, 87(10), 1873-1900. <https://doi.org/10.2175/106143015x14338845156461>
- Bo, L., Zhang, S., & Chang, C. (2019). Emerging pollutants—Part II: Treatment. *Water Environment Research*, 91(10), 1390-1401. <https://doi.org/10.1002/wer.1233>
- Brack, W. (2015). The Challenge: Prioritization of emerging pollutants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2181. <https://doi.org/10.1002/etc.3046>
- Česen, M., Ahel, M., Terzić, S., Heath, D. J., & Heath, E. (2019). The occurrence of contaminants of emerging concern in Slovenian and Croatian wastewaters and receiving Sava river. *Science of The Total Environment*, 650, 2446-2453. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.238>

- Chaker, N., Mahjoub, B., Mahjoub, O., & Sillanpää, M. (2017). Remediation of Emerging Pollutants in Contaminated Wastewater and Aquatic Environments: Biomass-Based Technologies. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 45(5), 1700101. <https://doi.org/10.1002/clen.201700101>
- Christofilopoulos, S., Kaliakatsos, A., Triantafyllou, K., Gounaki, I., Venieri, D., & Kalogerakis, N. (2019b). Evaluation of a constructed wetland for wastewater treatment: Addressing emerging organic contaminants and antibiotic resistant bacteria. *New Biotechnology*, 52, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.05.006>
- da Silva, A. K., Amador, J., Cherchi, C., Miller, S. M., Morse, A. N., Pellegrin, M.-L., & Wells, M. J. M. (2013). Emerging Pollutants – Part I: Occurrence, Fate and Transport. *Water Environment Research*, 85(10), 1978-2021. <https://doi.org/10.2175/106143013x13698672323065>
- Delgado-Moreno, L., Bazhari, S., Nogales, R., & Romero, E. (2019). Innovative application of biobed bioremediation systems to remove emerging contaminants: Adsorption, degradation and bioaccessibility. *Science of The Total Environment*, 651, 990-997. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.268>
- Dosoretz, C. G. (2019). Removal of Contaminants of Emerging Concern from Wastewater. *Encyclopedia of Water*, 1-13. <https://doi.org/10.1002/9781119300762.wsts0044>
- Duarte, P., Almeida, C. M. R., Fernandes, J. P., Morais, D., Lino, M., Gomes, C. R., ... Mucha, A. P. (2019). Bioremediation of bezafibrate and paroxetine by microorganisms from estuarine sediment and activated sludge of an associated wastewater treatment plant. *Science of The Total Environment*, 655, 796-806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.285>

- Dulio, V., & Slobodnik, J. (2015). In Response: The NORMAN perspectives on prioritization of emerging pollutants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2183-2185. <https://doi.org/10.1002/etc.3048>
- El-Shazly, M. M., Omar, W. A., Edmardash, Y. A., Ibrahim, M. S., Elzayat, E. I., El-Sebeay, I. I. A., Abdel Rahman, K. M., & Soliman, M. M. (2016). Area reduction and trace element pollution in Nile Delta wetland ecosystems. *African Journal of Ecology*, 55(4), 391-401. <https://doi.org/10.1111/aje.12264>
- Environment Research, 84(10), 1909-1940. <https://doi.org/10.2175/106143012x13407275695832>
- Esterhuizen-Londt, M., Schwartz, K., & Pflugmacher, S. (2016). Using aquatic fungi for pharmaceutical bioremediation: Uptake of acetaminophen by *Mucor hiemalis* does not result in an enzymatic oxidative stress response. *Fungal Biology*, 120(10), 1249-1257. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.07.009>
- Fate of Emerging Pollutants. (2019). Soil-based Wastewater Treatment, 229-266. <https://doi.org/10.2134/sbwtreatment.c8>
- Fernandes, J. P., Duarte, P., Almeida, C. M. R., Carvalho, M. F., & Mucha, A. P. (2020). Potential of bacterial consortia obtained from different environments for bioremediation of paroxetine and bezafibrate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103881. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103881>
- Flores, F., Garcéa, J., & Dobado, J. (2017). Overview of Pharmaceutical Products as Emerging Pollutants. *Emerging Pollutants*, 57-101. <https://doi.org/10.1002/9783527691203.ch4>
- García-Sánchez, L., Gutiérrez-Macías, T., & Estrada-Arriaga, E. B. (2019). Assessment of a *Ficus benjamina* wood chip-based aerated biofilter used for the removal of metformin and ciprofloxacin during domestic

wastewater treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(6), 1870-1879. <https://doi.org/10.1002/jctb.5962>

Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000200005

Golveia, J., Bara, M. T., Santiago, M., Campos, L., & Schimidt, F. (2020). Cocoa Agro-Industrial Residue (*Theobroma cacao*) as Inducer of the Production of Fungal Laccase and Kojic Acid for Application in the Biodegradation of 17- α -Ethinylestradiol. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2023-2029. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200102>

Huang, Y., Dsikowitzky, L., Yang, F., & Schwarzbauer, J. (2020). Emerging contaminants in municipal wastewaters and their relevance for the surface water contamination in the tropical coastal city Haikou, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, 106611. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106611>

Joshi, N., Rathod, M., Vyas, D., Kumar, R., & Mody, K. (2018). Multiple Pollutants Removal from Industrial Wastewaters Using a Novel Biofloculant Produced by *Bacillus licheniformis* NJ3. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(s1), S306-S314. <https://doi.org/10.1002/ep.13027>

Kamusoko, R., & Jingura, R. M. (2017). Utility of *Jatropha* for Phytoremediation of Heavy Metals and Emerging Contaminants of Water Resources: A Review. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 45(11), 1700444. <https://doi.org/10.1002/clen.201700444>

Keen, O., Bell, K., Cherchi, C., Finnegan, B., Mauter, M., Parker, A.,..... Stretz, H. (2014). Emerging Pollutants – Part II: Treatment. *Water Environment Research*, 86(10), 2036-2096. doi:10.2307/26662297

- Li, W., Wu, Y., Luo, X., & Liu, S. (2017a). Magnetic Bionanocomposites. *Bionanocomposites*, 205-234. <https://doi.org/10.1002/9781118942246.ch5.2>
- Magro, C., Mateus, E. P., Paz-Garcia, J. M., & Ribeiro, A. B. (2020). Emerging organic contaminants in wastewater: Understanding electrochemical reactors for triclosan and its by-products degradation. *Chemosphere*, 247, 125758. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125758>
- Mahjoub, O. (2015). Emerging Pollutants in Irrigation Water. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 43(9), 1271. <https://doi.org/10.1002/clen.201570094>
- Morés, L., da Silva, A. C., Merib, J., Dias, A. N., & Carasek, E. (2019). A natural and renewable biosorbent phase as a low-cost approach in disposable pipette extraction technique for the determination of emerging contaminants in lake water samples. *Journal of Separation Science*, 42(7), 1404-1411. <https://doi.org/10.1002/jssc.201801005>
- Overview of Pharmaceutical Products as Emerging Pollutants. (2017). *Emerging Pollutants*, 57-101. <https://doi.org/10.1002/9783527691203.ch4>
- Padhye, L. P. (2015). Fate of Environmental Pollutants. *Water Environment Research*, 87(10), 1595-1610. <https://doi.org/10.2175/106143015x14338845156308>
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2016). Micropollutants pre-concentration using adsorption-desorption cycles: application to chlorinated paraffins and alkyl-phenol derivatives. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(5), 1076-1084. <https://doi.org/10.1002/jctb.5083>
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2016). Micropollutants pre-concentration using adsorption-desorption cycles: application to chlorinated paraffins and alkyl-phenol derivatives. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(5), 1076-1084. <https://doi.org/10.1002/jctb.5083>

- Qiu, L., Dong, Z., Sun, H., Li, H., & Chang, C.-C. (2016). Emerging Pollutants – Part I: Occurrence, Fate and Transport. *Water Environment Research*, 88(10), 1855-1875. <https://doi.org/10.2175/106143016x14696400495811>
- Shah, A., & Shah, M. (2020a). Characterisation and bioremediation of wastewater: A review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100383. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100383>
- Singh, A., & Ummalyma, S. B. (2020). Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river watercontaminated with pharmaceutical effluent. *Bioresource Technology*, 307, 123233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123233>
- Singh, A., & Ummalyma, S. B. (2020). Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river watercontaminated with pharmaceutical effluent. *Bioresource Technology*, 307, 123233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123233>
- Solís-González, C. J., & Loza-Tavera, H. (2019). Alicyclophilus: current knowledge and potential for bioremediation of xenobiotics. *Journal of Applied Microbiology*, 126(6), 1643-1656. <https://doi.org/10.1111/jam.14207>
- Sulbarán Rangel, B. C., Madrigal Oliveira, A. E., Romero Arellano, V. H., & Guzmán González, C. A. (2019). Nanomateriales celulósicos para la adsorción de contaminantes emergentes. *Tecnura*, 23(62), 13-20. <https://doi.org/10.14483/22487638.15451>
- Sutherland, D. L., & Ralph, P. J. (2019). Microalgal bioremediation of emerging contaminants - Opportunities and challenges. *Water Research*, 164, 114921. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114921>
- Tran, N. H., Reinhard, M., Khan, E., Chen, H., Nguyen, V. T., Li, Y., ... Gin, K. Y.-H. (2019). Emerging contaminants in wastewater, stormwater runoff,

and surface water: Application as chemical markers for diffuse sources. *Science of The Total Environment*, 676, 252-267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.160>

Urbano, B. F., Bustamante, S., Palacio, D. A., Vera, M., & Rivas, B. L. (2020). Polymer supports for the removal and degradation of hazardous organic pollutants: an overview. *Polymer International*, 69(4), 333-345. <https://doi.org/10.1002/pi.5961>

Vuković Domanovac, M., Šabić Runjavec, M., & Meštrović, E. (2019a). Bioaugmentation effect of *Aeromonas hydrophila* and *Pseudomonas putida* on kinetics of activated sludge process in treating pharmaceutical industrial wastewater. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(8), 2721-2728. <https://doi.org/10.1002/jctb.6085>

Wu, Y., Chen, Y., & Wei, N. (2019). Biocatalytic properties of cell surface display laccase for degradation of emerging contaminant acetaminophen in water reclamation. *Biotechnology and Bioengineering*, 117(2), 342-353. <https://doi.org/10.1002/bit.27214>

ANEXOS

ANEXO 1: FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
--	---

TITULO:

AÑO DE PUBLICACION <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION <input type="text"/>	Nro. de página de información extraída
---	---	--

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTO R (ES):
-------------------------------	-----------------------------

CODIGO :	
PALABRAS CLAVES :	
CARACTERISTICAS DE LAS CONTAMINANTES EMERGENTES DE AGUAS RESIDUALES :	
MÉTODO BIOLÓGICO :	
PARAMETROS DE MEDICION DE LOS CONTAMINANTES :	
CONDICIONES DE OPERATIVIDAD PARA EL USO DEL METODO BIOLOGICO :	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES :	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, ALVARADO CUEVA MARJORIE, LEY HUAMAN YOLANDA BEATRIZ estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "REVISIÓN SISTEMÁTICA: MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS RESIDUALES", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ALVARADO CUEVA MARJORIE DNI: 73038673 ORCID 0000-0002-8231-2942	Firmado digitalmente por: ALVARADOCU el 31-12-2020 15:18:00
LEY HUAMAN YOLANDA BEATRIZ DNI: 76850657 ORCID 0000-0002-0305-1378	Firmado digitalmente por: YLEYH13 el 26-12-2020 17:58:48

Código documento Trilce: INV - 0102322