EXPOSICIÓN POTENCIAL A CONTAMINANTES QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y FARMACOLÓGICOS EN TRABAJADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: MINI REVISION SISTEMÁTICA

Autores

Prof. Castañeda Quiroga Zully Esmeralda

Ing. Martínez Martínez Angie Julieth

Universidad El Bosque

Facultad de Medicina

Especialización en Higiene Industrial

Bogotá D.C, enero 21 de 2022

Universidad El Bosque

Facultad de Medicina

EXPOSICIÓN POTENCIAL A CONTAMINANTES QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y FARMACOLÓGICOS EN TRABAJADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: MINI REVISION SISTEMATICA

Línea de Investigación:

Exposición ocupacional y efectos en salud

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Especialista en Higiene Industrial

Prof. Castañeda Quiroga Zully Esmeralda

Ing. Martínez Martínez Angie Julieth

Asesora temática y Metodológica

Ing. Lidy Yadira Cetina Castillo

Bogotá D.C, enero 21 de 2022

Nota de Aceptación

_____

Lidy Yadira Cetina
Directora de Investigación

_____

xxxxxxxxxxx

Director División de Postgrados

_____

xxxxxxxxxx
Director del Programa

_____

Xxxxxxxxxxx
Jurado

"La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia"

Agradecimiento

A Dios por darnos salud, sabiduría y voluntad.

A nuestra familia por apoyarnos, por proporcionarnos tiempo y por motivarnos a seguir siempre adelante.

A nuestra asesora por guiarnos día a día, por destinar tiempo y proporcionar el espacio necesario para el fortalecimiento del proceso de investigación, gracias por tenernos tanta paciencia.

Contenido

1. Introducción 3
2. Marco Teórico 4
3. Problema 9
4. Justificación 12
5. Objetivos 18
   5.1 Objetivo general 18
   5.2. Objetivos Específicos 18
6. Propósitos 19
7. Metodología 20
   7.1. Aspectos éticos 20
   7.2. Presupuesto 21
   7.3. Búsqueda Inicial 22
   7.4. Criterios de elegibilidad 24
   7.5. Criterios de Inclusión 25
   7.6. Criterios de Exclusión 25
   7.7. Fuentes de Información 26
   7.8. Estrategia de Búsqueda 28
   7.9. Proceso de Selección 29
8. Resultados y análisis de la búsqueda 30
9. Contaminantes Biológicos 36
   9.1. Bacterias 36
   9.2. Virus 38
   9.3. Parásitos 39
   9.4. Hongos 40
10. Contaminantes Químicos 45
   10.1. Metales 45
   10.2. Compuestos Halogenados 47

10.3. Compuestos Nitrogenados....49
11. Contaminantes Farmacológicos....51
11.1. Antiinflamatorios....52
Analgésicos....52
11.2. Antibióticos....52
12. Discusión....55
13. Conclusiones....58
14. Recomendaciones....60
15. Referencias....63
16. Anexos....72

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Métodos para el tratamiento de aguas residuales 5
Ilustración 2. Principales contaminantes presentes en aguas residuales 8
Ilustración 3. Planta de tratamiento de aguas residual en Colombia(13) 10
Ilustración 4. Organigrama 72
Ilustración 5.Diagrama de flujo de la búsqueda ejecutada bajo la guía PRISMA 2020 24
Ilustración 6. Cantidad de documentos por Tipo
Ilustración 7. Cantidad de Documentos por Fuente 30
Ilustración 8. Cantidad de Documentos por Año de Publicación 30

Lista de Tablas

Tabla 1. Cronograma de Actividades 2021-2022 73
Tabla 2. Presupuesto para la Investigación 21
Tabla 3. Delimitación del tema 22
Tabla 4. Palabras Clave 22
Tabla 5. Registro sistemático del proceso de búsqueda de información 27
Tabla 6. Listado de documentos seleccionados 31
Tabla 7. Clasificación de Agentes Bilógicos 41
Tabla 8. Clasificación de Agentes Químicos 50
Tabla 9. Clasificación de contaminantes farmacológicos 54

Zully Esmeralda Castañeda

Angie Julieth Martinez Martinez

Resumen

Una planta de tratamiento de aguas residuales es el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar aguas residuales, con material disuelto y en suspensión usadas por una comunidad o a nivel industrial. (1)

El objetivo principal de realizar un correcto tratamiento al agua residual va dirigió a su reutilización en diferentes actividades, principalmente de origen agropecuarias.

El tratamiento de aguas residuales involucra métodos biológicos (Uso de microorganismos), métodos físicos (Separación de residuos sólidos a través de barreras) y métodos químicos (uso de sustancias químicas), dichas aguas, contienen una gran cantidad de ***agentes contaminantes*** de origen biológico (virus, hongos, bacterias y parásitos), químicos (Solventes, compuestos nitrogenados, compuestos halogenados y metales) y farmacológicos (antibióticos, Antiinflamatorios y Analgésicos); en cada proceso se ven involucradas personas que intervienen de manera directa y tienen contacto con cada uno de estos agentes contaminantes, que al ingresar al cuerpo humano ocasionan afectos adversos en el estado de salud.

Se realizó una mini revisión sistemática bajo la metodología PRISMA 2020, con el objetivo de identificar en la literatura científica, la existencia de estudios dirigidos a la identificación de contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos que se encuentran en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Palabras Clave: Planta de tratamiento - aguas residuales - agentes contaminantes - exposición

Zully Esmeralda Castañeda

Angie Julieth Martinez Martinez

Abstract

A wastewater treatment plant is the set of works, facilities, and processes to treat wastewater, with dissolved and suspended material used by a community or at an industrial level.(1)

The main objective of carrying out a correct treatment of residual water is aimed at its reuse in different activities, mainly of agricultural origin.

Wastewater Treatment involves biological methods (Use of microorganisms), physical methods (Separation of solid waste through barriers) and chemical methods (use of chemical substances), these waters contain a large number ***of contaminating agents*** of biological origin (viruses, fungi, bacteria and parasites), chemicals (Solvents, nitrogenous compounds, halogenated compounds and metals) and pharmacological (antibiotics, anti-inflammatories and analgesics); In each process, workers who intervene directly and have contact with each of these contaminating agents interact, which, when entering the human body, cause adverse effects on the state of health.

A mini systematic review was carried out under the PRISMA 2020 methodology, with the aim of identifying in the scientific literature, the existence of studies aimed at the identification of chemical, biological and pharmacological contaminants found in wastewater treatment plants.

Keywords: Treatment plant - wastewater - contaminating agents - exposure

1. Introducción

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia son fundamentales e importantes para la recuperación del medio ambiente y de las cuencas hidrográficas que se encuentran contaminadas, así como, para la mejora de la calidad de vida de los habitantes del país que gozan de este beneficio. En la actualidad, en Colombia, existen 562 sistemas instalados para el tratamiento de aguas residuales.(1)

La presente mini revisión sistemática realiza una descripción y análisis del estado de la investigación científica en relación con la identificación de los contaminantes biológicos, químicos y farmacológicos, presentes en las aguas residuales, que generan una potencial exposición a los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo como fuente de exploración las bases académicas ***Pubmed, Science Direct y Taylor and Francis***; así como, fuentes institucionales como la Organización Mundial de la Salud OMS, Organización de las Naciones Unidas ONU, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Ministerio de Salud, Ministerio de Medio Ambiente y entidades como la Corporación Autónoma Regional CAR, durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 2017 a la actualidad, bajo la metodología PRISMA 2020.

De esta investigación se deriva la base de datos de búsqueda estratégica de información que incluye los artículos o capítulos de libros más destacados y relacionados con el tema de estudio, de la misma manera, se pretende mencionar los efectos significativos en las personas expuestas a los

contaminantes de origen biológico, químico y farmacológico presentes en el agua residual (se incluyen las tablas de clasificación de agentes contaminantes correspondiente a cada objetivo).

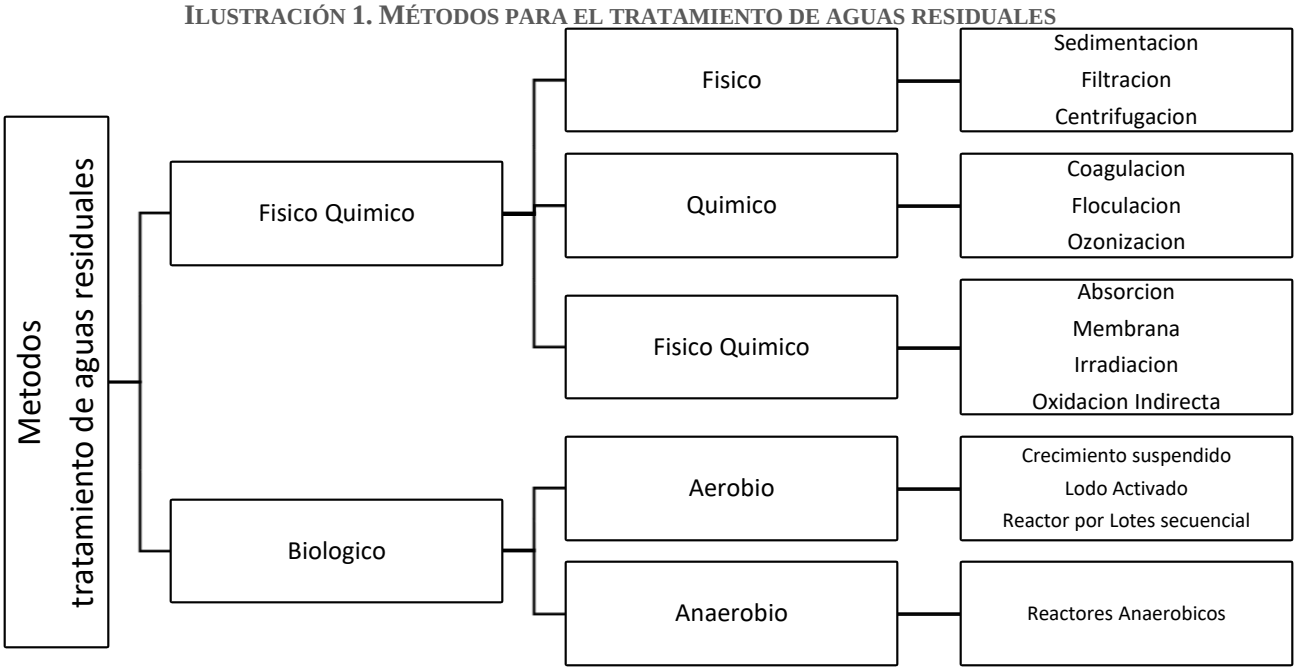
2. Marco Teórico

El termino **agua residual**, define un tipo de agua que está contaminada con diferentes sustancias, su importancia radica en que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo y si no es tratada, genera graves problemas de contaminación. (2)

Las aguas residuales industriales, son aquellas generadas durante las actividades de operación de diferentes industrias, es el agua más común que transporta productos no deseados luego de ser usada; generalmente está compuesta de materiales orgánicos, inorgánicos, peligrosos, partículas suspendidas o disueltas, impurezas como, colorantes, metales pesados y otros compuestos tóxicos que envenenan el agua y disminuyen la transparencia de las fuentes de agua, es por ello que requieren que se realice un tratamiento adecuado antes de su reutilización o descarga.(2)

Existen diferentes **métodos de tratamiento** de aguas residuales, estos pueden clasificarse en métodos fisicoquímicos (uso de sustancias químicas) y biológicos (método aeróbicos y anaeróbicos).(2)

ILUSTRACIÓN 1. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Fuente: Shankar, Ravi Kumar, Anjay Prasad, Amarjeet Kumar, Khare, Prateek, Varma, Anil Kumar, Yadav, Vinod Kumar. Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants, capítulo 9. 2021.

En el **tratamiento físico** de aguas residuales, uno o más compuestos se separan de las aguas residuales y se transfieren a otra fase donde necesita un tratamiento adicional o la degradación del contaminante; este se utiliza principalmente para la separación de material flotante, gran materia sedimentable, separación de compuestos inorgánicos y para reciclar materiales o sustancias valiosas y utilizables; este método incluye la filtración normal, hasta la separación por membrana, la absorción, la eliminación y la adsorción. (3) Este método es útil para eliminar el producto solido o no deseado en suspensión de las aguas residuales. (2)

El principal método usado en el tratamiento físico es la filtración, donde se pueden usar diferentes filtros, como el filtro de mangas, filtro de cartucho, filtro de arena, entre otros. (4)

El **tratamiento biológico** tiene como objetivo eliminar los contaminantes del agua mediante el uso de microorganismos; se emplea comúnmente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y se realizan en modo aeróbico (proceso que ocurre en presencia del oxígeno) y anaeróbico (proceso que ocurre en ausencia del oxígeno); el tratamiento biológico aeróbico puede operar como accesorio (filtro percolador, reactor de biopelícula y contactor de disco giratorio), suspendido (lodo activado), biorreactor de membrana o combinado (reactor de biopelícula de lecho móvil) que depende de las condiciones de funcionamiento del bioproceso y las características de las aguas residuales. El tratamiento biológico anaeróbico se puede realizar en un reactor con deflectores anaeróbicos, un reactor de lecho fluidizado anaeróbico, un reactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente (UASB) y un lecho de lodo granular expandido. Las técnicas anaeróbicas se emplean generalmente para el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales concentradas.(4) Este tipo de tratamiento es útil para la reducción de contaminantes biodegradables. (2)

El **tratamiento químico** de las aguas residuales comprende varios métodos como oxidación, reducción, precipitación, intercambio iónico, etc. En los procesos de oxidación / reducción, se utilizan como agentes oxidantes cloro / hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, ozono o permanganato y como agente reductor se utiliza bisulfito o metabisulfito de sodio.(4)

En cualquiera de los métodos de tratamiento de aguas residuales, encontramos varios organismos y contaminantes orgánicos, inorgánicos, metálicos y radiactivos que pueden afectar la salud de los **trabajadores** que intervienen en cada proceso.(5)

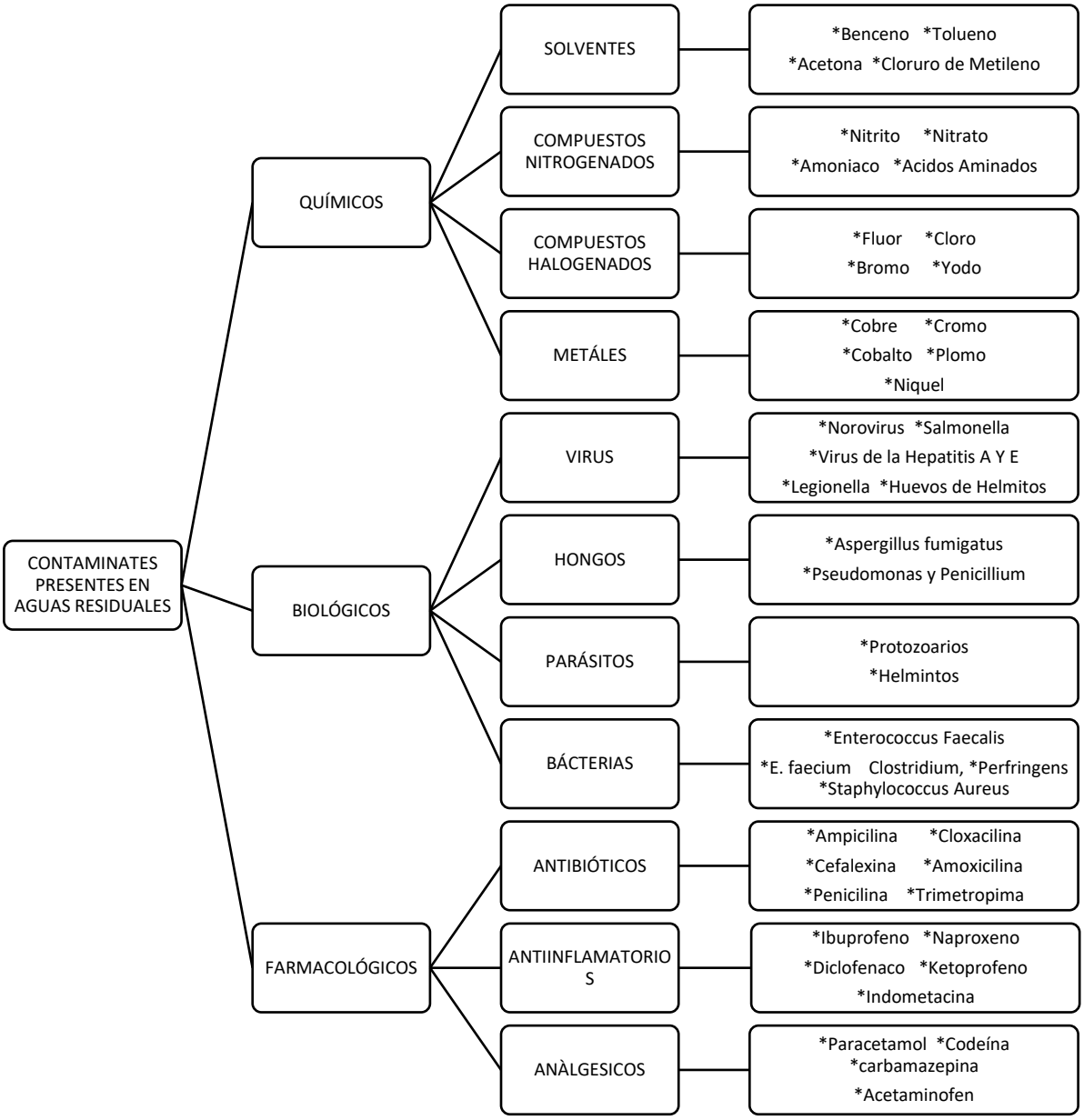
De acuerdo con lo anterior, es de interés, **identificar cuáles son los contaminantes presentes en el agua** durante su tratamiento en plantas de tratamiento de agua residual y que efectos pueden generar en la salud de los trabajadores.

Dentro de los **principales contaminantes** presentes en las aguas residuales encontramos sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, nutrientes, patógenos, materia no biodegradable, metales, sólidos inorgánicos disueltos, material radioactivo, etc.(5)

Como **contaminantes químicos** encontramos los metales pesados y otros contaminantes como sulfatos, fluoruros, oxalatos, nitratos, fosfatos y cloruros, que tienen riesgo para la salud y algunos pueden llegar a ser altamente tóxicos y cancerígenos, como el Amoniaco, el Arsénico, Bario, Cromo, Mercurio, Uranio y Zinc.(6)

En cuanto a los **contaminantes biológicos**, en los procesos de tratamiento de aguas residuales, podemos encontrar Bacterias patógenas (enterococos, Clostridium, staphylococus áureas, hongos, E Coli, virus de la Hepatitis A y E, Salmonella, Legionela, entre otros).(7)(8) Por último como **contaminantes farmacológicos**, podemos mencionar la Amoxicilina, Ampicilina, Cefalexina, Penicilina, Tirosina, Ibuprofeno, Naproxeno, Diclofenaco, Codeína, entre otros. (9)

ILUSTRACIÓN 2. PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES



Fuente: Elaboración propia

La **exposición** en el trabajo, para este caso, la podemos definir como aquella situación en la que un trabajador puede recibir la acción directa o indirecta de un agente químico, biológico o

farmacológico durante la intervención en un determinado proceso en el ámbito laboral, en este influyen factores como la concentración y el tiempo de la exposición.(10)

3. Problema

En casi todos los grandes ríos de África, Asia y América Latina la calidad del agua se ha deteriorado a causa de la contaminación. La carga de nutrientes, que generalmente va asociada a la carga de patógenos, es una de las principales fuentes de contaminación. (11)

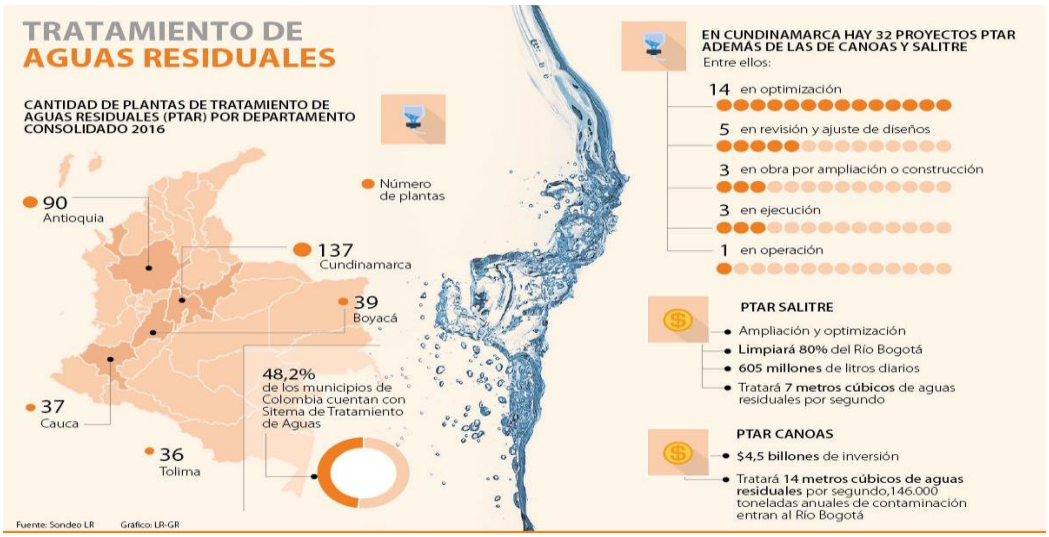
El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza.(12)

Según la Organización Mundial de la Salud OMS, en 2015, 844 millones de personas carecían de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales, así mismo en todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable contaminada por heces. El agua contaminada puede transmitir enfermedades diarreicas crónicas, como el cólera, la disentería, entre otras.(12)

Se estima que a nivel global el 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, con efectos nocivos para la salud humana y los ecosistemas. Esta proporción es mucho mayor en los países menos desarrollados que carecen en gran parte de instalaciones de saneamiento y de tratamiento de aguas residuales.(12)

La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante. Los países están utilizando cada vez más las aguas residuales para regar; en los países en desarrollo, esto representa el 7% de las tierras de regadío. Si bien esta práctica plantea riesgos para la salud, la gestión segura de las aguas residuales puede aportar múltiples beneficios como el aumento de la producción de alimentos.(12)

Según 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), 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.(13) Ilustración 3. Planta de tratamiento de aguas residual en Colombia(13)



Fuente: Vanegas Andrés. Diario La República. Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. 2018.

Partiendo de lo anterior, y teniendo en cuenta que durante el tratamiento de aguas residuales, se

presentan diversos contaminantes de origen químico, biológico y farmacológico, que en determinado momento pueden afectar y deteriorar la salud de los trabajadores inmersos en los procesos, se hace necesario que se realice la investigación sistemática en curso, con el fin de identificar los contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos, presentes en el agua residual y como se puede generar una potencial exposición de los trabajadores de las plantas de tratamiento.

¿Qué contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos se encuentran en las plantas de tratamiento de aguas residuales, que puedan generar exposición ocupacional a los trabajadores?

4. Justificación

En Colombia, el agua tiene una doble connotación desde el punto de vista del orden jurídico; de una parte, como un derecho fundamental y de otra, como un servicio público(14). En tal sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficientes y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad. El agua potable hace parte de los servicios públicos domiciliarios y como derecho fundamental, de acuerdo con lo establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, se concibe como "*el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico".* El agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano.(15) Respecto a lo anterior, se hace necesario que el agua, reciba el tratamiento que se requiere con el fin de garantizar que sea consumible y aprovechable por el ser humano, haciendo conciencia en este punto de que todos somos corresponsables de velar por este derecho primordial.

De acuerdo con el informe del Banco Mundial, ***Wastewater: From Waste to Resource (Aguas residuales: De residuo a recurso),*** el agua residual del mundo, de la cual el 80 % se vierte al medioambiente sin haber recibido un tratamiento adecuado, es un recurso valioso del que pueden recuperarse varios elementos, como agua limpia, energía y nutrientes. Una vez tratadas las aguas residuales pueden utilizarse para reemplazar el agua dulce para riego, procesos industriales o fines recreativos. También pueden usarse para mantener el flujo ambiental. (16) De ahí, surge la importancia de que los países, cuenten con plantas de tratamiento de aguas residuales.

La Ley 9 del 16 de julio de 1979, "Por la cual se dictan medidas sanitarias", menciona que todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente. En consecuencia, la misma Ley, en su título III articulo 80(17), indica que:

"Con el fin de preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones se hace necesario establecer normas tendientes a, prevenir todo daño para la salud de las personas, derivado de las condiciones de trabajo, proteger a la persona contra los riesgos relacionados con agentes físicos, ***químicos, biológicos****,* ***orgánicos****, mecánicos y otros que puedan afectar la salud individual o colectiva en los lugares de trabajo*". (18) (p.16).

Por ello, surge la necesidad de identificar y reconocer qué contaminantes se encuentran presentes en el agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales y que daño pueden generar a la salud de los trabajadores que se ven involucrados en cada uno de sus procesos.

Esta misma Ley, en su sección de las condiciones ambientales, resalta que en todo lugar de trabajo en que se empleen procedimientos, equipos, maquinas, materiales o **sustancias** que den origen a condiciones ambientales que puedan afectar la salud y seguridad de los trabajadores o su capacidad normal de trabajo, deberán adoptarse medidas de higiene y seguridad necesarias para controlar en forma efectiva los **agentes nocivos**, y aplicarse los procedimientos de prevención y control correspondientes.(17) Ante la falta de referentes que den sustento a la identificación de contaminantes en el ambiente de trabajo en plantas de tratamiento de aguas residuales, se motiva

la presente investigación a caracterizarlas, identificarlas y clasificarlas, para que en posteriores estudios se posibilite diseñar estrategias para la evaluación de la exposición ocupacional y procedimientos de prevención y mitigación de sus efectos en la salud.

En la sección, de los agentes químicos y biológicos, la Ley 9 de 1979, establece que:

> "E*n todos los lugares de trabajo se adoptarán las medidas necesarias para evitar la presencia de agentes químicos y biológicos en el aire con* ***concentraciones, cantidades o niveles*** *tales que representen* ***riesgos para la salud*** *y el bienestar de los trabajadores o de la población en general*".(17) (p.16).

A pesar, de las medidas mencionadas en la presente Ley, durante la búsqueda no se hace evidente en la literatura colombiana consultada, estudios relacionados con la exposición ocupacional a los agentes químicos y biológicos en plantas de tratamiento de aguas residual, sin embargo, en cuanto a literatura internacional consultada, se identificaron 5 artículos(19)(20)(21)(22)(23), que mencionan el tema de exposición ocupacional de trabajadores de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residual.

Por su parte, la Resolución 1207 del 2014, "Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas", indica que, estas aguas, *"Suponen una oportunidad como fuente alternativa de abastecimiento, por ello el reúso de estas aguas implica a su vez una mejora en la calidad del agua de las fuentes hídricas, al reducir su contaminación cuando se eliminan vertimientos y minimizan emisiones de productos químicos y materiales peligrosos*". (24)

A partir de lo expresado en esta Ley, el Gobierno Colombiano se ha propuesto reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial, como parte de los resultados esperados a 2030 y establecidos en los objetivos de Desarrollo Sostenible ODS tomados en cuenta para la formulación de dicha Ley(25). Ante esta iniciativa, que promete una mejora en la calidad del agua para la comunidad, es importante tener en cuenta el aumento del riesgo que representa la exposición a contaminantes en los trabajadores, partiendo de la premisa que, para lograr cumplir el objetivo, es necesario aumentar la mano de obra, mejorar los procesos de tratamiento y ampliar la capacidad de infraestructura; por ello, la importancia de esta investigación.

Esta Ley, menciona y describe algunos de los **contaminantes** que se encuentran en las aguas residuales, tales como, "***Fenoles totales****, los cuales son sustancias encontradas en los ambientes acuáticos, como resultado de la contaminación generada por industrias que procesan resinas, plásticos, colorantes, tintas, entre otros*";(25) los Fenoles pueden producir problemas cardiovasculares, gastrointestinales, hematológicos, renales y dérmicos en la salud humana. "***Hidrocarburos totales****, provenientes de la industria química, derivados del Petróleo Crudo, como el Benceno, Tolueno, Xileno, entre otros*"(25); pueden generar cáncer. *"****Los Cianuros****, se encuentran presenten en aguas que han recibido la influencia de descargas producto minera aurífera"*(25), estos pueden causar lesiones en el sistema nervioso central o problemas de tiroides cuando su concentración en el agua, supera los 0.2mg/L. "***El Cloruro****, indispensable para el desarrollo de las plantas, pero cuando su concentración es muy alta, puede convertirse en un*

elemento toxico". (25) De esta manera, se hacen evidentes las afectaciones que tienen el potencial de desarrollar los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, la Resolución 0631 de 2015 "por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones" en esta normativa emite los valores límites permisibles de la concentración en los vertimientos, de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos en los diferentes sectores de la economía (*industriales, comerciales y de servicios*) e indica cual es la manera de tomar la muestra en tiempo y concentraciones total de los ingredientes activos para ser presentados ante la autoridad ambiental competente.(26)

La Ley 55 de 1993, "Por medio del cual se aprueba el Convenio número 170 y la Recomendación 177 sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo" en su artículo 12 **Exposición**, indica que "*los empleadores deberán asegurarse de que sus trabajadores no se hallen expuestos a productos químicos por encima de los límites de exposición o de otros criterios de exposición para la evaluación y el control del medio ambiente de trabajo, así mismo deben evaluar la exposición de los trabajadores a productos químicos peligrosos, entre otros*". (27) Por lo tanto, es relevante, evaluar a que nivel de exposición, se encuentran los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de poder adoptar medidas de prevención y control que mitiguen y/o eliminen los efectos adversos en la salud.

La Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos publicada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST, menciona que, "*se entiende por exposición a* ***agentes biológicos*** *la presencia de estos en el entorno laboral que implica el contacto de dichos agentes con el trabajador por cualquiera de las vías de entrada al organismo. establece un conjunto de disposiciones que se aplicarán en actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a agentes biológicos*".(28) Teniendo en cuenta, que el agua residual, contiene diversos agentes biológicos (virus, hongos, bacterias, parásitos, entre otros), es necesario que, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se adopten las medidas adecuadas para garantizar el bienestar de los trabajadores inmersos en la actividad.

Finalmente, y como se evidencia, en el tratamiento de aguas residuales se involucran trabajadores en cada uno de sus procesos y el desarrollo de este implica contacto con diversos contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos. ***El interés de esta investigación se centra en la potencial exposición a agentes contaminantes de dichos trabajadores en las plantas de tratamiento de agua residual***. Si bien es cierto, el agua es un recurso primordial para los seres humanos, y garantizar que esta reciba un tratamiento adecuado está en manos de los lideres gubernamentales, quienes a su vez tienen como objetivo promover el aumento del tratamiento de la aguas residuales, también lo es, garantizar que los trabajadores que intervienen en este importante proceso, gocen de buena salud, buscando entonces un equilibrio que permita salvaguardar la vida de los trabajadores, disminuyendo y/o evitando su exposición, sin dejar de lado que al agua residual, sea aprovechable.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Realizar una mini revisión sistemática de la literatura científica relacionada con la potencial exposición de trabajadores en el tratamiento de aguas residuales a través de la identificación de agentes químicos, biológicos y farmacológicos presentes en el agua.

5.2. Objetivos Específicos

- Identificar los contaminantes biológicos, presentes en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Identificar los contaminantes químicos, presentes en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Identificar los contaminantes farmacológicos, presentes en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales.

6. Propósitos

El principal propósito de la presente investigación radica en hacer visibles aquellos contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos, que afectan la salud de los trabajadores de las plantas de tratamiento de agua residual y que pueden generar una potencial exposición ocupacional, con la intención de prever acciones que permitan mitigar dicha exposición y sus efectos.

7. Metodología

Para la presente investigación, se ha llevado a cabo, una mini revisión sistemática de la literatura científica, publicada en materia de tratamiento de aguas residuales, contaminantes presentes en el agua y exposición ocupacional. Para su elaboración, se han seguido las directrices de ***la Declaración PRISMA 2020*** (29), para la correcta realización de revisiones sistemáticas. A continuación, se detalla el proceso de elaboración en sus distintas fases.

7.1. Aspectos éticos

Para la presente investigación, se tuvo en cuenta la directrices establecidas en el ***Código Internacional de ética para los Profesionales de la Salud Ocupacional***, Adoptado por la Comisión Internacional de Salud Ocupacional (COH), comprendiendo que la Salud Ocupacional debe enfocarse en "La promoción y mantenimiento del más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones; la prevención de daños a la salud causados por sus condiciones de trabajo; la ubicación y mantenimiento de trabajadores en un ambiente de trabajo adaptado a sus capacidades fisiológicas y psicológicas; y, para resumir, la adaptación del trabajo al hombre, y de cada hombre a su tarea.(30)" Las acciones aquí precisadas contribuyen en la prevención de nuevos casos de enfermedades de tipo laboral, por exposición a condiciones laborales en las plantas de tratamiento de agua residual; buscando así que el desarrollo de estas actividades, minimicen el riesgo de afectaciones a la salud, seguridad y capacidades de los trabajadores.

7.2. Presupuesto

A continuación, se mencionan los recursos estimados para la investigación:

TABLA 1. PRESUPUESTO PARA LA INVESTIGACIÓN

Recursos Humanos			
PERSONAL	**PERFIL PROFESIONAL**		**DEDICACION**
Lidy Yadira Cetina			Asesora de Tesis
Angie Julieth Martínez Martínez	Ingeniera Industrial		Analista
Zully Esmeralda Castañeda	Administradora en Salud Ocupacional		Analista
Recursos Físicos			
CONCEPTO	**CARACTERISTICA**	**CANTIDAD**	**DISPOSICION REQUERIDA**
Computadores	HP Pro One 600 HP Intel Core i3	1 1	Uso frecuente
Cuadernos	Argollado Cuadriculado	2	Uso frecuente
Esferos	Kilométrico	2	Uso Frecuente
USB	Serial Bus	2	Uso Frecuente

Recursos Financieros			
CONCEPTO	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**
Servicio Publico Energía	NA	NA	540.000
Servicio Publico Agua	NA	NA	420.000
Servicio Publico Internet	NA	NA	750.000
		TOTAL	**1.710.00**

Fuente: Universidad El Bosque

7.3. Búsqueda Inicial

Las primeras búsquedas se realizaron en abril de 2021, delimitando el tema, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 2. DELIMITACIÓN DEL TEMA

Geográfico	América, Europa y Asia
Cronológico	Últimos 5 años
Idiomas	Español, inglés
Otros	Artículos de revisión (Review Article) Artículos originales (Research Article) Capítulos de libros (Book Chapter)

Como criterios de búsqueda, se establecieron las siguientes palabras claves:

TABLA 3. PALABRAS CLAVE

Lenguaje natural	Normalizadas en inglés
Aguas residuales	Sewage Water
Exposición ocupacional	Occupational Exposure
Peligros químicos	Chemical Hazards
Plantas de tratamiento	Treatment Plants
Residuos	Residue
Seguridad y Salud en el Trabajo	Safety and Health at Work
Sustancias químicas	Chemical Substances
Trabajador de planta de tratamiento de aguas residuales	Sewage Treatment Plant Worker
Tratamiento Biológico	Biological Treatment

Inicialmente combinando los términos *"Wastewater treatment"* y *"occupational health*", en las bases de datos Pubmed, Science Direct y Taylor and Francis. Posteriormente, se amplió con una combinación, usando el operador booleano AND, como se muestra a continuación:

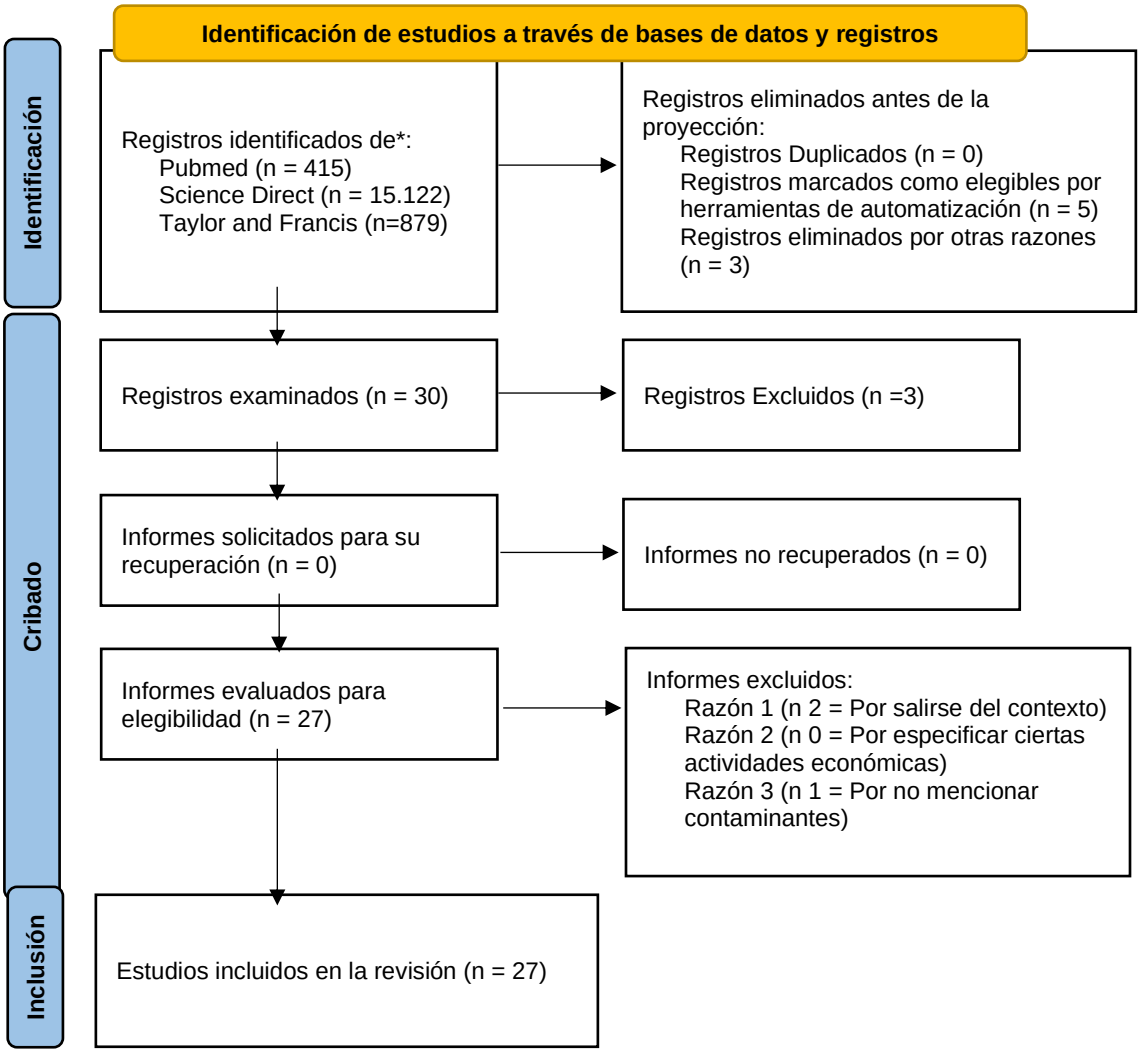
- Chemical AND biological pollutants in wastewater treatment plants
- Occupational exposure AND biological treatment plants
- Wastewater treatment AND occupational health
- Chemical agents AND biological wastewater treatment plants
- Chemical treatment AND wastewater
- Workers AN biological wastewater treatment plant
- Occupational exposure AND wastewater
- Wastewater treatment plants AND chemical pollutants

Adicionalmente se consultaron documentos provenientes de fuentes institucionales como la Organización Mundial de la Salud OMS, Organización de las Naciones Unidas ONU, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Ministerio de Salud, Ministerio de Medio Ambiente y entidades como la Corporación Autónoma Regional CAR.

Estas búsquedas arrojaron una cantidad considerable de resultados, algunos poco útiles para la revisión. Sin embargo, permitieron obtener una visión global de la amplitud del tema, y permitieron comprobar que, en torno a ella, hay algunas publicaciones.(31)

7.4. Criterios de elegibilidad

ILUSTRACIÓN 4.DIAGRAMA DE FLUJO DE LA BÚSQUEDA EJECUTADA BAJO LA GUÍA PRISMA 2020



Fuente: Guía PRISMA 2020

La búsqueda sistemática, se realizó semana tras semana desde abril a octubre de 2021, en Pubmed, Science Direct y Taylor and Francis, revisando las publicaciones desde el año 2017, hasta la actualidad.

La combinación de términos, que arrojó mejores resultados en los tres buscadores fue la siguiente: ***"Chemical AND biological pollutants in wastewater treatment plants" y "Occupational exposure AND biological treatment plants"***. Concretamente se obtuvieron 415 resultados en Pubmed, 15122 en Science Direct y 879 en Taylor and Francis. Antes de proceder con la selección de artículos, se definieron los criterios de inclusión y exclusión.

7.5. Criterios de Inclusión

- Artículos de revisión, artículos originales y capítulos de libros
- Contenido relacionado con los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales
- Artículos que mencionaran contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos
- Documentos que mencionaran exposición ocupacional en plantas de tratamiento de aguas residuales
- Artículos que mencionaran efectos adversos a la salud, derivado de los contaminantes presentes en el agua de las plantas de tratamiento de agua residual
- Documentos que se hayan publicado entre 2017 y 2021

7.6. Criterios de Exclusión

- Documentos que no mencionaran contaminantes del agua en plantas de tratamiento de aguas residuales
- Documentos que mencionaran actividades económicas especificas
- Documentos publicados antes del 2017

De acuerdo con los criterios mencionados y teniendo en cuenta el título del artículo, se realizó la elección de los documentos que en su momento se consideraron adecuados, 30 *(n = 30)* artículos; seguidamente se leyeron los resúmenes de cada documento, descartando 3 *(n = 3)* artículos, principalmente por no mencionar contaminantes presentes en el agua y exposición ocupacional.

Finalmente 27 *(n = 27)* artículos cumplieron con los criterios de inclusión, los cuales fueron seleccionados para llevar a cabo la mini revisión sistemática. En dichos artículos se señalaban contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos, trabajadores en plantas de tratamiento de agua residual y exposición ocupacional.

Con el fin de validar, la posibilidad de obtener más artículos que complementaran la investigación, para octubre y noviembre, se realizó una última búsqueda en Science Direct, usando distintas combinaciones de los términos, para comprobar si había quedado algún artículo por fuera, que debiera incluirse en la base de búsqueda estratégica. Estas búsquedas no revelaron nuevos resultados (documentos), que tuvieran cabida en la investigación. Del total de los 27 artículos, 2 se encontraron en lengua castellana y 25 en lengua inglesa.

7.7. Fuentes de Información

El 15 de abril de 2021, se inició la búsqueda en bases de datos, cuyos nombres se relacionan en la figura 5 “Registro sistemático del proceso de búsqueda de información”, también llevamos a cabo una búsqueda en Google Académico, sin embargo, en esta no obtuvimos resultados significantes. El 10 de mayo, nuevamente realizamos una búsqueda exhaustiva en Sicence Direct, caracterizando este recurso como el más importante y en el que más se identificaban documentos asociados con

el tema de investigación. Seguidamente continuamos realizando búsquedas complementarias (incluyendo y excluyendo), de documentos relacionados entre junio y noviembre.

TABLA 4. REGISTRO SISTEMÁTICO DEL PROCESO DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

# Búsqueda	Base de datos	Fecha de consulta	Ecuación de búsqueda English	Limitadores aplicados	Número de resultados obtenidos	Número de referencias seleccionadas
1	Pubmed	15/04/2021 10/05/2021 15/06/2021 05/07/2021 14/08/2021 25/09/2021 10/10/2021 05/11/2021	Chemical AND biological pollutants in wastewater treatment plants	Últimos 5 años ***Tipo de publicación:*** Artículos de revisión (Review Article) Artículos originales (Research Article) Capítulos de libros (Book Chapter) Reseñas (Book Review) ***Idioma:*** Español e Ingles	21	0
	Science Direct				1847	5
	Taylor and Francis				140	0
2	Pubmed		Occupational exposure AND biological treatment plants		9	0
	Science Direct				522	2
	Taylor and Francis				7	0
3	Pubmed		Wasterwater treatment AND occupational health		14	2
	Science Direct				6	1
	Taylor and Francis				0	0
4	Pubmed		Chemical agents AND biological wastewater treatment plants		7	0
	Science Direct				1375	4
	Taylor and Francis				85	0
5	Pubmed		Chemical treatment AND wastewater		298	0
	Science Direct				8145	2
	Taylor and Francis				338	0
6	Pubmed		Workers AND biological		2	0
	Science Direct				222	4

	Taylor and Francis		wastewater treatment plants		122	0
7	Pubmed		Occupational exposure AND wastewater		19	2
	Science Direct				168	2
	Taylor and Francis				5	0
8	Pubmed		wastewater treatment plants AND chemical pollutants		45	0
	Science Direct				2837	3
	Taylor and Francis				182	0

Fuente. Elaboración propia

7.8. Estrategia de Búsqueda

Dentro de las estrategias de búsqueda, en su orden, se implementó:

1. Formulación de palabras clave
2. Diseño de las ecuaciones de búsqueda
3. Criterios - delimitadores
4. Elección de bases de datos
5. Búsqueda en las bases de datos de la Biblioteca Juan Roa Vásquez de la Universidad El Bosque
6. Se tomó como elemento para registro de la información, el documento de Excel propuesto por la Universidad *"Base de datos de búsqueda estratégica",* al cual con el pasar del tiempo se le realizaron ajustes, que contribuyeron a organizar más detalladamente la información.

7. En el momento de la búsqueda en las bases de datos, se aplicaron los filtros de búsqueda de acuerdo con los limitadores establecidos *(Tabla 3).*
8. La elección inicial de los documentos se realizó a manera de lectura de títulos y resúmenes de los artículos
9. La elección final se realizó mediante la lectura completa de cada artículo preseleccionado
10. Todo documento elegido fue registrado en la base de datos de búsqueda estratégica para su posterior análisis

7.9. Proceso de Selección

Para la selección de los documentos, los integrantes del equipo de investigación (conformado por tres personas, incluyendo la asesora de trabajo de grado), revisaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los primeros registros, teniendo en cuenta, los criterios de inclusión y exclusión determinados previamente. Posteriormente y en reuniones, revisaron las inconsistencias hasta llegar a un acuerdo para elegir los documentos que se vincularon directamente con el tema de investigación.

Seguidamente y para la selección final, fueron divididos los artículos, por categorías (Contaminantes químicos, Contaminantes biológicos y Contaminantes Farmacológicos), esto con el fin de facilitar su clasificación al momento de analizar los resultados obtenidos durante la búsqueda.

8. Resultados y análisis de la búsqueda

Los documentos seleccionados pueden consultarse en la Tabla 4 *"Listado de documentos seleccionados*", y en la tabla de Excel anexa "***Base de datos de búsqueda estratégica****"* el análisis que se presenta a continuación se encuentra clasificado así: **Contaminantes biológicos, Contaminantes químicos y Contaminantes farmacológicos,** presentes en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con la tabla *4 "Listado de documentos seleccionados",* evidenciamos que:

ILUSTRACIÓN 5. CANTIDAD DE DOCUMENTOS POR TIPO

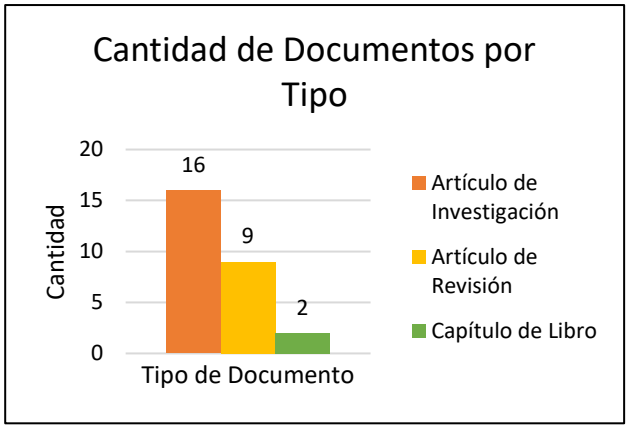


ILUSTRACIÓN 6. CANTIDAD DE DOCUMENTOS

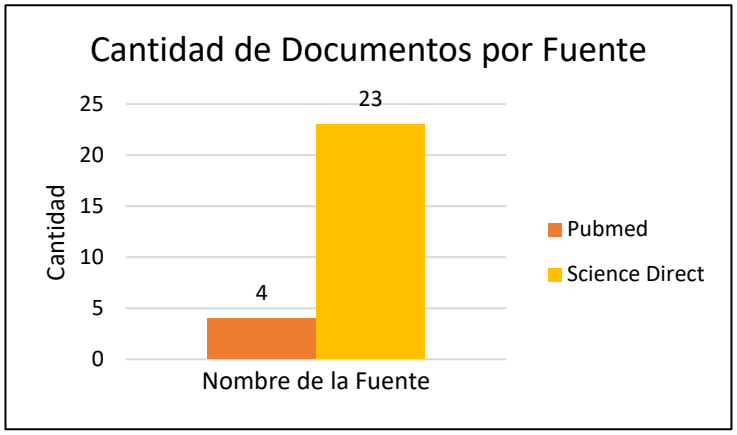
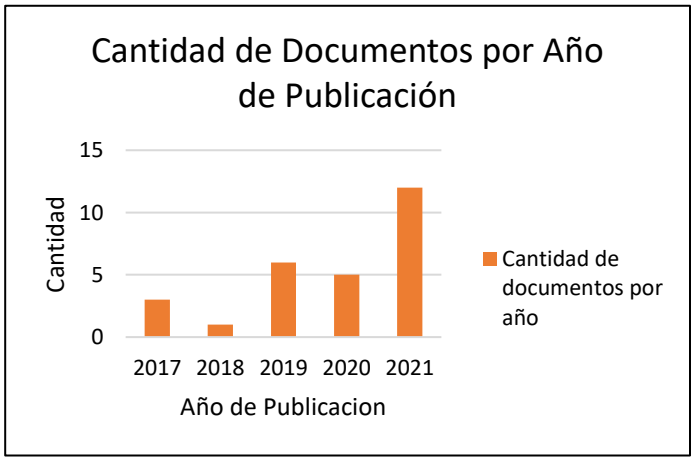


ILUSTRACIÓN 7. CANTIDAD DE DOCUMENTOS POR AÑO DE PUBLICACIÓN



La fuente de información que más proporcionó documentos relacionados con el tema de investigación fue Science Direct, con 23 artículos seleccionados. Del total de documentos seleccionados, 16 corresponden a artículos de investigación. 12 de los artículos seleccionados son del año 2021.

TABLA 5. LISTADO DE DOCUMENTOS SELECCIONADOS

#	Título	Autor(es)	Fuente	Año	URL / DOI	Tipo de documento
1	Evaluación y modelado de riesgos de virus entéricos transmitidos por el aire emitidos por aguas residuales reutilizadas para riego	D. CouraultaI. AlbertbS. PerellecA. FraissecP. RenaultaA. Salemkour abP. Amatod	Science Direct	2017	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.105	Artículo de Investigación
2	Revisión sobre el destino y el mecanismo de eliminación de contaminantes farmacéuticos de las aguas residuales utilizando un enfoque biológico	Bhagyashree Tiwari aBalasubramanian Sellamuthu bYassine Ouarda aPatrick Drogui aRajeshwar D. Tyagi aGerardo Buelna	Science Direct	2017	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.042	Artículo de Revisión
3	Progreso en las tecnologías de tratamiento biológico y químico para la eliminación de contaminantes emergentes de las aguas residuales: una revisión crítica	Mohammad BoshirAhmedaJohn L.ZhouaHuu HaoNgoaWenshanGuoaNikolaos S.ThomaidisbJiangXuc	Science Direct	2017	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045	Artículo de Investigación
4	Evidencia epidemiológica y riesgos para la salud asociados con la reutilización agrícola de aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas: Una revisión	AnthonyA. Adegoke Isacc D. Amoah Thor A. Stenstrom MattehewE. Verbyla James R.Mihelcic	Pubmed	2018	https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00337	Artículo de Revisión
5	Documento de opinión sobre tazas de contaminantes orgánicos en aguas residuales: evaluación de la toxicidad desde una perspectiva europea	Roberta Pedrazzani unaGiorgio Bertanza bIvan Brnardić cZeynep Cetecioglu dene Dries aeJolanta Dvarionienė fAntonio J. García-Fernández gAlette Langenhoff hGiovanni Libralato iGiusy Lofrano jBiljana Škrbić kEmma Martínez-López gSüreyya Meriç lDragana Mutavdžić Pavlović mMatteo Papa bPeterSchröder nKonstantinos P. Tsagarakis oChristian Vogelsang p	Science Direct	2019	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.027	Artículo de Revisión
6	Aerosoles de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante zanja de	Tang Yang, Yunping Han, Junxin Liu a, Lin Li	Science Direct	2019	https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.071	Artículo de Investigación

	oxidación proceso: características, distribución de fuentes y riesgos de exposición					
7	Problema de cumplimiento con el uso de equipo de protección personal entre trabajadores de aguas residuales en la región sureste de los Estados Unidos	Tamara Wright Atin Adhikari Jingjing Yin Robert Vogel Stacy Samallwood Gulzar shah	Pubmed	2019	10.3390/ijerph16112009	Artículo de Revisión
8	Protección de los trabajadores de las aguas residuales de los riesgos de enfermedades: directrices sobre equipos de protección personal	Mark W LeChevallier Theodore J. Mansfield Jacqueline MacDonald Gibson	Pubmed	2019	https://doi.org/10.1002/wer.1249	Artículo de Revisión
9	Epidemiología basada en aguas residuales como un enfoque de evaluación novedoso para la exposición a metales a nivel de la población	Christopher Markosian 1Natella Mirzoyan	Science Direct	2019	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.419	Artículo de Revisión
10	Riesgo de emisión y exposición de bioaerosoles de una planta de tratamiento de aguas residuales con proceso de tratamiento de A 2 O	Yunping Han 1, Kaixiong Yang 2, Tang Yang 3, Mengzhu Zhang 4, Lin Li 5	Science Direct	2019	10.1016 / j. ecoenv.2018.11.018	Artículo de Investigación
11	Capítulo 6- Peligros de las aguas residuales para la salud humana	Bing Wu	Science Direct	2020	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816448-8.00006-X	Libro Capítulo 6
12	Detección y caracterización en tiempo real de emisiones de bioaerosoles de plantas de tratamiento de aguas residuales	Jiang-han Tiana Cheng Yan Zaheer Ahmad Nasir Sonia García Alcega SeanTyrrel Frederic Coulona	Science Direct	2020	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137629	Artículo de Investigación
13	Exposición de los trabajadores de plantas de tratamiento de aguas residuales y métodos para evaluar el riesgo de su exposición	Rui Lu Margit.Frederiksen Katrine Uhrbrand Yanpeng Li Claus Østergaard Anne Mette Madsen	Science Direct	2020	https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111365	Artículo de Investigación

14	Efluente de la calidad y la reutilización potencial de urbana de aguas residuales aerobia-anóxica sistema: Una práctica ilustración para el medio ambiente la contaminación y la evaluación de riesgo para la salud	AwokeGuadie AsaminYesigat ShetieGatew AbebeWorku WenzongLiu MengistMinale AijieWang	Science Direct	2021	https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101891	Artículo de Investigación
15	Ocurrencia, fuentes y técnicas de tratamiento convencionales para diversos antibióticos presentes en las aguas residuales hospitalarias: una revisión crítica	Nadeem A. Khan Sirajuddin Ahmed aIzharul Haq Farooqi Imran Ali V. Vambol Fazlollah Changani Mahmood Yousefi Sergij Vambol Saif Ullah Khan Afzal Husain Khan	Science Direct	2020	https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115921	Artículo de Revisión
16	Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development Metodologías efectivas de tratamiento de agua / aguas residuales para eliminación de contaminantes: procesos y aplicaciones hacia una desarrollo	A. Saravanan, P. Senthil Kumar, S. Jeevanantham, S. Karishma, B. Tajsabreen, P.R. Yaashikaa, B. Reshma	Science Direct	2021	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130595	Artículo de Investigación
17	Intensificación de procesos en aguas residuales tratamientos: fundamentos del proceso intensificación y contaminantes inorgánicos	Kailas L. Wasewar	Science Direct	2021	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00011-6	Libro Capítulo 21
18	Detección de contaminantes indicadores prioritarios en el tratamiento de aguas residuales a gran escala plantas por análisis no objetivo	Yuli Qian, Xuebing Wang, Gang Wu, Liye Wang, Jinju Geng, Nanyang Yu, Si Wei	Science Direct	2021	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125490	Artículo de Investigación
19	Evaluación cuantitativa del riesgo microbiano y análisis de sensibilidad para trabajadores expuestos a bioaerosoles bacterianos patógenos bajo diversas	Yan-huan Chen, Cheng Yan, Ya-fei Yang, Jia-xin Ma	Science Direct	2020	https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.scitotenv.2020.142615	Artículo de Investigación

	modos de aireación en dos plantas de tratamiento de aguas residuales					
20	Las plantas de tratamiento de aguas residuales como reservorio de genes de resistencia a la integrasa y a los antibióticos: una amenaza epidemiologia para los trabajadores y el medio ambiente	Wiktor Zieliński aEwa Korzeniewska aMonika Harnisz aJustyna Drzymała bEwa Felis b cSylwia Bajkacz b d	Science Direct	2021	https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106641	Artículo de Investigación
21	Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes (COP) del agua y aguas residuales por proceso de adsorción y electrocoagulación	Fatima Ezzahra Titchou, Hicham Zazou, Hanane Afanga, Jamila El Gaayda, Rachid Ait Akbour, Mohamed Hamdani	Science Direct	2021	https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.cep.2021.108631	Artículo de Revisión
22	Revisión sistemática de la exposición potencial a los peligros respiratorios ocupacionales entre los trabajadores del alcantarillado	Kamarulzaman Muzaini Siti Munira Yasin Zaliha Ismail Ahmad Razali Ishak	Pubmed	2021	Doi: 10.3389 / fpubh.2021.646790	Artículo de Revisión
23	Caracterización de bioaerosoles en plantas de pretratamiento de residuos biológicos en relación con la salud ocupacional	Pil U. Rasmussen Hoang UT Phan Margit W. Frederiksen Anne Mette Madsen	Science Direct	2021	https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.wasman.2021.06.009	Artículo de Investigación
24	Aplicación al suelo de lodos de depuradora municipal: evaluación de los riesgos para la salud humana de los metales pesados	Elif Yakamercan Akif Ari Ahmet Aygün	Science Direct	15/10/2021	https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.jclepro.2021.128568	Artículo de Investigación
25	Una revisión completa de las tecnologías actuales para la eliminación de sustancias químicas disruptoras endocrinas de las aguas residuales	Dariush Azizi Ayman Arif David Blair Justine Dionne Yves Filion Yassine Ouarda Ana Gisell Pazmino Rama Pulicharla Victoria Rilstone Bhagyashree Tiwari Leah Vignale	Science Direct	8/10/2021	https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.envres.2021.112196	Artículo de Investigación

		Satinder Kaur Brar Pascale Champagne Patrick Drogui Valerie S. Langlois Jean-FrançoisBlais				
26	Emisiones de compuestos de azufre volátiles y evaluación de riesgos para la salud de un A2/ O planta de tratamiento de aguas residuales	Ruoyu Li Zhangliang Han Hanzhang Shen Fei Qi Dezhi Suna	Science Direct	10/11/ 2021	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148741	Artículo de Investigación
27	Mutagenicidad, riesgo para la salud y carga de morbilidad de la exposición a microcontaminantes orgánicos en el agua de una planta de tratamiento de agua potable en el delta del río Yangtze, China	Panqi Xue Yameng Zhao Danyang Zhao Meina Chi Yuanyuan Yin Yanan Xuan Xia Wang	Science Direct	15/9/2 021	https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112421	Artículo de Investigación

A continuación, realizamos el análisis de los resultados obtenidos.

9. Contaminantes Biológicos

De los veinte siete (27) artículos seleccionados, quince (15) artículos mencionan contaminantes biológicos presentes en las aguas residuales, clasificándolos de la siguiente manera: ***bacterias, virus, parásitos y hongos.***

9.1. Bacterias

"Las bacterias son las células vivientes más pequeñas (0.1 a 10 µm). Tienen una membrana citoplásmica rodeada por una pared celular; las bacterias son organismos de una sola célula se encuentran dispersas por todas partes de la tierra y pueden ocasionar daño al cuerpo humano".(32) (P.441) Una de las familias más grandes de las bacterias son las enterobacterias, estas crecen con rapidez bajo condiciones aerobias o anaerobias y son causantes de infecciones de vías urinarias (IVU) y algunas son causantes de diarrea; tiene la facilidad de colonizar el tubo digestivo de los seres humanos y los animales.(32)

En la mayoría de los artículos revisados, los autores mencionan diversas bacterias, dentro de ellas, encontramos: Escherichia Coli *(*E. Coli), Klebsiella Proteus, Enterobacter, Salmonella y Shigella; a continuación, definiremos las bacterias más relevantes que pueden causar efectos adversos en la salud humana.

Según la Organización Mundial de la Salud OMS, define la **Escherichia Coli (E. Coli)** como:

"Una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. La mayoría de las cepas de E. Coli *son inofensivas. Sin embargo, algunas de ellas, como* E. Coli *productora de toxina Shiga, pueden causar graves enfermedades a través de los alimentos…Entre los síntomas de la enfermedad causada por* E. Coli *productora de toxina Shiga destacan los calambres abdominales y la diarrea, que puede progresar en algunos casos a diarrea sanguinolenta (colitis hemorrágica). También puede haber fiebre y vómitos*".(33) El agua residual contiene bastante contaminación fecal, lo que facilita que la bacteria E.Coli, permanezca en esta hasta el momento en el que el agua sea sometida a tratamiento.

En dos (2) de los artículos revisados, los autores mencionan que esta bacteria es causante de gastroenteritis e infecciones virales(34); por su parte los autores del artículo de investigación "*Evaluación cuantitativa del riesgo microbiano en trabajadores de plantas de tratamiento de agua residual",* precisan que el "Síndrome del trabajador de las aguas residuales" se caracteriza porque las personas expuestas presentan síntomas respiratorios y gastrointestinales, además de fatiga, dolor de cabeza, y mareo, la causa puede radicar a exposición laboral a bioaerosoles bacterianos que se liberan en los procesos de tratamiento dentro ellos la liberación de Escherichia Coli.(35)

La Salmonella, es una enterobacteria que tiene la particularidad de producir toxinas dentro de las cuales se encuentran la Tifoidea, esta produce un cuadro severo de infección de fiebre y destruye órganos por la excesiva respuesta inflamatoria excesiva del cuerpo.(34)

La Organización Mundial de la Salud OMS define: *"A nivel mundial**, la*** **Legionella** pneumophila, *transmitida por el agua, es la que más comúnmente causa casos de infección e incluso brotes*

epidémicos. La Legionella pneumophila *y otras especies afines suelen encontrarse en lagos, ríos, arroyos, aguas termales y sistemas hídrico, como las plantas de tratamiento de aguas residuales".*(36) La forma de transmisión más *frecuente de* Legionella es la inhalación de aerosoles contaminados, puede causar la enfermedad del legionario, causando invasión de la medula ósea, además de fiebre y compromiso pulmonar al ingresar al cuerpo humano.

9.2. Virus

"Un virus es un conjunto de genes, compuestos de DNA o RNA, empacados en un recubrimiento que contiene proteínas, los virus tienen la capacidad de autorreplicarse usando huéspedes como intermediarios, son capaces de causar infecciones latentes y crónicas.(32)*(P.83) Los virus causan enfermedades cuando violan las barreras protectoras físicas y naturales primarias del hospedador; evaden las defensas locales, hísticas e inmunitarias; se propagan por el cuerpo; y destruyen células ya sea en forma directa o por medio de respuestas inmunitarias e inflamatorias colaterales*". (32)(P.110) De los veinte siete (27) documentos consultados, cinco (5) artículos mencionan la presencia de virus en las aguas residuales, especificando dentro de ellos el virus de la Hepatitis E, Rotavirus, Enterovirus, Poliovirus, Adenovirus humano, entre otros.

El virus de la **Hepatitis E** llega al agua residual a través de las heces, la Hepatitis E, es una enfermedad hepática, que provoca inflamación del hígado, el virus se excreta en las heces de las personas enfermas y entra al organismo por el intestino a través de contacto con agua contaminada.(32) Para este caso contacto de los trabajadores con el agua contaminada. Los **rotavirus,** son virus que provocan gastroenteritis, esta infección se transmite fácilmente, infecta el

recubrimiento interno de los intestinos. **Los enterovirus** *"constituyen un subgrupo importante de pequeños virus que se transmiten por vía fecal-oral y que fácilmente infectan el tracto intestinal, donde pueden diseminarse hasta ocasionar enfermedades paralíticas, meningitis aséptica leve, exantemas, miocarditis, pericarditis y enfermedades febriles no específicas. Los enterovirus humanos y animales son ubicuos y se han encontrado en todas partes del mundo. Su nombre se deriva de su capacidad para infectar los tejidos epiteliales y linfoides del tracto intestinal y excretarse en heces".*(32) Los virus mencionados anteriormente, son transmitidos a través de las heces, llegan al agua y al tener contacto con los seres humanos ingresan al intestino causando afectaciones, dentro de ellas enfermedad diarreica aguda.

9.3. Parásitos

Los Parásitos son aquellos organismos que se alimentan de las sustancias que elabora un ser vivo de distinta especie, viven en su interior con el fin de causarle daño o enfermedad.(32) De los 27 documentos seleccionados, 3 documentos mencionan en su contenido la presencia de parásitos en el agua residual, mencionando como parásitos principales: los huevos de Helmintos, Áscaris Lumbricoides y T.trichiura, dichos parásitos se caracterizan por que *se nutren por ingestión o absorción de líquidos corporales, tejido lisado o contenido intestinal de sus hospedadores, metabolizan los carbohidratos con rapidez y la concentración de glucógeno en el gusano es alta. La respiración es principalmente anaerobia, aunque las larvas con frecuencia requieren oxígeno.*(32) Estos parásitos entran al organismo humano a través del agua en forma de huevecillos.

9.4. Hongos

Cinco (5) de los 27 documentos revisados, mencionan la presencia de hongos en el agua residual; los hongos son una clase definida de microorganismos, la mayor parte de los cuales son formas de vida libre, que actúan como putrefactores en el ciclo energético. De las más de 200 000 especies conocidas, menos de 200 se han reportado como causantes de enfermedades en humanos. Estas enfermedades, conocidas como micosis, tienen características clínicas y microbiológicas singulares.(32) La característica principal de los hongos es que requieren de otros seres vivos para obtener su alimento.

Dentro de los hongos que mencionan los autores de los artículos revisados encontramos: Cryptosporidium Parvum, Mitocoxinas, Cochliobolus, Boeremia, Davidiella, Aspergillus fumigatus. Estos tipos de hongos pueden causar infecciones en la piel, estas pueden parecer a un sarpullido leve y es muy común.

En la siguiente tabla se especifican los diferentes contaminantes biológicos mencionados por los autores, clasificado por tipo, modo de transmisión y efectos en la salud, con el fin de obtener un panorama de la potencial exposición de los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE AGENTES BILÓGICOS

CLASIFICACIÓN AGENTES BIOLÓGICOS		
Bacterias	**Modo de transmisión**	**Efectos en la Salud**
Acinetobacter	Fómite y contacto	La neumonía, infección de vías urinarias e infecciones de tejidos blandos.(37) (P.491)
Acinetobacter Baunmanniien	Boca, nariz, vía urinaria, dérmica (38)	Neumonía, infección en la sangre, meningitis, infección del tracto urinario, infección en la piel
Actinomyces	Fómite y contacto	Fiebre, abscesos, tejido cicatricial y fistulas(39)
Aeromonas	Contacto mucosas	Heridas y diarrea (37)(P.447)
Arthrobacter		Los síntomas de la infección dependen de la especie involucrada en le infección y la zona afectada: Endocarditis infeccionas subaguda, bacteriemia, etc (40)
Bacillus	Oro fecal	Vomito, diarrea(37) (P.705)
Bacillus cereus	Oro fecal	Diarrea acosa(37)(P.704)
Clostridium	Flora, oro fecal	Diarrea medicamentosa
Clostridium perfringens		Celulitis, gangrena gaseosa, enterocoliti (37) (P.395)
Enterobacter	Oro fecal	Neumonía aguda, absceso pulmonar(37) (P.699)
Enterobacter aerogenes	Oro fecal	Infección urinaria(41)(P.3)
Enterobacter cloacae	Oro fecal	Infección en el tracto urinario (41)(P.3), meningitis (41)(P.9)
Enterococcus faecalis	Oro fecal	Vías urinarias, infecciones piógenas (37)(P.334)
Enterococcus faecium	Contacto con mucosas	Vías urinarias, infecciones piógenas (37)(P.334)
Escherichia coli	Oro fecal	Vias urinarias(37) (P.449) Diarrea acuosa(37) (P.702)

		Infecciones intestinales(37) (P.442)
Escherichia-Shigella	Oro fecal	Infecciones intestinales(37) (P.442) Colitis inflamatoria(37)(P.456)
Helicobacter pylory	Secreciones fecales, gástricas(37) P(437)	Ulceraspépticas, gastritis crónica, ulceras, adenocarcinoma, linfoma (37)(P.432)
Klebsiella pneumoniae	Hematógeno, gotas, contacto	Neumonía lobular clásica(37) (P.462)
Legionella Pneumophila	Hematógena, gotas, contacto	Neumonía aguda(37)(P.699) Neumonía toxica (37)(P.468)
Micrococcus	hematógeno, gotas, contacto	Endocarditis, neumonía y shock séptico ()
Mycobacterium	Aerosol	Ulceras crónicas(37) (P.678)
Mycobacterium tuberculosis	Aerosol	Coriorretinitis(37) (P.684) Neumonía crónica(37) (P.699) Infección granulomatosa crónica (37) P(718)
Proteobacterias Gamma	Contacto con mucosas	Infecciones de vías urinarias
Proteobacterias Beta	Contacto con mucosas	meningoencefalitis
Proteobacterias Delta	Contacto con mucosas	Infecciones de vías urinarias
Pseudomonas aerruginosa	Parenteral, mucosas, respiratoria y digestiva (42)	Infecciones dérmicas, neumonía, otitis, infección ocular(42)
Salmonella typhimurium	Oro fecal	Fiebre tifoidea(37) P(441) Gastroenteritis (37)P(457)
Serratia	Contacto con mucosas	Infecciones oportunistas (37)P(442)
Staphylococcus capitis	Contacto dérmico	Celulitis
Staphylococcus aureus	contacto	Infecciones de la piel y neumonía, endocarditis y osteomielitis (39)
Streptococcus	Contacto dérmico, aerosol	Faringitis, erisipela
Streptomyces	Contacto, gotas	Neumonías
Veillonella	Intestino(37)(395)	Oportunistas raras (37)(P.395)

Vibrio cholence	Oral(37)(P.301)	Diarrea, cólera (P.431)
Yersinia enterocolitica	Fecal-oral(37) (P.432)	Infecciones intestinales(37) (P.442) Fiebre tifoidea P(704)
Virus	**Modo de transmisión**	**Efectos en la Salud**
Adenovirus humano (HAdV)(43), (44), (45),	Nariz o boca, mano u objeto y nariz(37) P(112)	Transmisión ocular(37)(P.78) Resfriado común (37)(P.112) Rinitis (37)P(695)
Coxsackievirus(43)	Oro fecal	Faringitis o amigdalitis (37)P(695) Meningitis aséptica, encefalitis, Debilidad muscular y parálisis (enfermedades tipo poliomielitis), Ataxia cerebelosa, Exantemas y enantemas, Pericarditis, miocarditis, Mialgia epidémica (pleurodinia), orquitis (37) P(173)
Echovirus (43)	Gotas y aerosol	Laringitis y crup (37)(P.697) Meningitis aséptica, encefalitis, Debilidad muscular y parálisis (enfermedades tipo poliomielitis), Ataxia cerebelosa, Exantemas y enantemas, Pericarditis, miocarditis, Mialgia epidémica (pleurodinia), orquitis (37) P(173)
Enterovirus (EV) (43), (46)	Oro fecal	Diarrea, miringitis, exantemas, rash
Norovirus	Vía fecal-oral(37)(P.213)	Diarrea(37)(P.213)
Polyomavirus Human (HPyV	Oro fecal	Polio(37)(P.171)
Rotavirus (RV)	Vía fecal-oral (37)P(210)	Hakuri (diarrea blanca) (37)P(213)
Virus de la hepatitis A	Vía fecal-oral (37)(P.176)	Hepatitis infecciosa (P.176)

		Fiebre, anorexia, náuseas, dolor de cuadrante abdominal superior derecho(37)(P.177)
Virus de la hepatitis E (HEV)	Sangre, salva y semen(37)(P.181)	Hepatitis sérica (37) (P.179)
Torque teno virus humano	Transfusionales	Hepatitis
Parasitos	**Modo de transmisión**	**Efectos en la Salud**
Áscaris lumbrcoides	Boca(37)(P.632)	Ascariasis, toxocariosis (larva) (37) P(631)
T.trichiura	Boca	Trichuriasis(37) (P.631)
Hongos	**Modo de transmisión**	**Efectos en la Salud**
Agariconmycetes (47)	Contacto (piel, mucosas y pulmones)	
Aspergillus (48)		Infección pulmonar, diseminada (37) P(552)
Cladosporium (49)		Cromoblastomicosis(37) (P.550)
Chrysosporium (47)	Oportunistas, Piel quemada	Infecciones cutáneas, pulmonares (50)
Cochliobolus (49)	Oral	Micotoxinas compromiso del sistema nervioso
Phanerochaete (47)	Oral	Intoxicación
Penicillium (48)	Respiratoria, digestiva y parenteral(51)	Infecciones respiratorias e infecciones locales o superficiales como: neumonías, queratitis, endoftamitis, otomicosis, endocarditis, esofagitis e infecciones cutáneas(51)
Rhodotortula (48)	Contacto con piel y mucosas	Fungemia, sepsis, endoftalmitis, infección del catéter, peritonitis, meningitis principalmente en pacientes inmunocomprometidos. Produce varios alérgenos por lo que

		puede estar involucrada en la enfermedad alérgica.(52)
Scopulariopsis (48)	Contacto piel, mucosa y pulmones	Lesiones cutáneas, micetomas, sinusitis invasora, queratitis, endoftalmitis, neumonitis, endocarditis, infecciones diseminadas(53)
Wallemia (48)		Neumonitis y enfermedad pulmonar del agricultor(54)

**El listado de agentes, corresponde a los mencionados por los autores en cada uno de los documentos.*

10. Contaminantes Químicos

De los veinte siete (27) artículos seleccionados, dieciocho (18) artículos mencionan contaminantes químicos presentes en las aguas residuales, clasificándolos de la siguiente manera: ***metales, compuestos halogenados y compuestos nitrogenados.***

10.1. Metales

Los metales son elementos químicos que se caracterizan por ser excelentes conductores de calor y de electricidad, así mismo por poseer alta densidad y ser solidos a temperaturas normales, excepto el Mercurio y el Galio. (55) Químicamente los metales se clasifican en metales alcalinos (Muy reactivos químicamente), metales alcalinotérreos (medianamente reactivos químicamente) y metales pesados o de transición (tóxicos en concentraciones bajas).(56) Para este caso nos centraremos en los metales pesados, teniendo en cuenta que 12 de los autores mencionan su

presencia en las aguas residuales, los más importantes son Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Estaño y Zinc.

El **Arsénico**, es un carcinógeno del grupo 1, generalmente está en la superficie de las rocas, lo encontramos en pesticidas, herbicidas, anticorrosivos, vidrio, pinturas, entre otros(56); residuos que llegan al agua residual. **El Cadmio**, naturalmente no se encuentra en estado libre. , Sin embargo, se usa en pinturas, plásticos, pilas, abonos, fotografía, vidrio y porcelana; para los seres vivos, la principal fuente de exposición son los alimentos y el agua ya que pequeñas partículas de Cadmio son absorbidas por el aparato respiratorio.(56)

El Cobalto es un elemento natural que se encuentra en las rocas, el suelo y el agua, se usa para dar color al vidrio, la cerámica y las pinturas; Se utiliza para esterilizar equipos médicos y fabricación de plásticos. **El Cobalto**, tomado por vía oral y se elimina en por las heces, una de las primeras maneras en las que llega para este caso al agua residual sin dejar de lado que es un elemento natural del agua.(57)

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud OMS "**El mercurio** es un elemento que está presente de forma natural en el aire, el agua y los suelos, puede ser tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, riñones y ojos,(58) la exposición humana a este metal es derivada del consumo de pescados o maricos contaminados en la población general y a nivel ocupacional por inhalación de vapores de mercurio de los procesos industriales o ingesta de agua contaminada. De otra la misma organización (OMS), indica que el **Plomo** "es un metal

tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar a una importante contaminación ambiental, a la exposición humana y a graves problemas de salud pública en muchas partes del mundo."(59)

Dos (2) de los autores mencionan que el proceso de tratamiento químico es uno de los más efectivos debido a que estas sustancias pueden emplearse eficazmente para el tratamiento de los contaminantes del agua(60), sin embargo, solo un autor (61) precisa sobre los peligros a los que están expuestos los trabajadores de las plantas de tratamiento de agua residual y propone nuevas tecnologías de tratamiento del agua.

Dentro de los riesgos que se pueden generar a la salud humana por la exposición a los metales nombrados anteriormente, van desde anemia, disfunción renal, trastornos respiratorios, hipertensión, gastroenteritis, lesiones vasculares en el sistema nervioso y el hígado hasta cáncer, estos dependen de la concentración, el tiempo de exposición y la vía de entrada del metal.(56)

10.2. Compuestos Halogenados

Los compuestos halogenados pueden ser naturales o sintéticos, en su estructura participa algún elemento halógeno, pueden ser sustancias simples o volátiles y presentar diferentes propiedades físicas. La mayoría de estas sustancias pueden ser toxicas para la salud de los seres humanos; los autores mencionan dentro de estos compuestos el **Cloro, Bromo y Yodo**, los cuales están presenten en el agua residual.(62)(63)

El Cloro *"aparece como un gas de color verdoso con un olor a acre sofocante, es toxico por inhalación, ligeramente soluble en agua, se utiliza para purificar el agua y para fabricar otros productos químicos; se puede convertir en liquido bajo presión o bajas temperaturas, se usa comúnmente como limpiador y desinfectante. Su exposición puede ser por vía oral, por inhalación o por vía dérmica y ocular, puede generar irritación de los ojos, nariz y garganta, tos, sibilancia, y dolor en el pecho".*(64) En exposiciones mayores este compuesto puede provocar un paro cardiaco o respiratorio.

El Bromo es un líquido color marrón oscuro con olor a acre y soluble en el agua, es toxico por inhalación, es muy corrosivo para los tejidos y los metales, uno de sus usos más frecuente es en filtro de agua para purificarla, también se usa como desinfectante y sanitizante en el hogar y en diferentes actividades económicas. La exposición a bajas concentraciones produce lagrimeo, irritación ocular, tos, disnea, ahogo y dolor de cabeza; a niveles más altos de exposición puede afectar el tracto respiratorio superior e inferior.(57) Al ser usado como producto de desinfección es común que sus residuos lleguen al agua. Por su parte el **Yodo,** aunque es nombrado solo por un autor, como de uso primordial para el proceso de eliminación de contaminantes en aguas residuales,(65) es importante indicar que es toxico por inhalación, irrita la piel, los ojos y las membranas mucosas al ser un compuesto corrosivo; este es usado en productos de origen farmacéutico y agrícolas.

Los autores mencionan los anteriores compuestos como de gran importancia para elaboración de diferentes productos químicos y para purificación del agua, no obstante, no mencionan los efectos adversos que se pueden producir en la salud de los trabajadores a los que se les genera exposición de manera directa o indirecta durante sus actividades, para este caso en las plantas de tratamiento de agua residual.

10.3. Compuestos Nitrogenados

Los compuestos Nitrogenados, son aquellos conformados por un enlace de Carbono y un enlace de Nitrógeno, del total de autores solo cuatro (4), mencionan la presencia de estos en el agua residual, especificando el Nitrato y el Nitrito dentro del procesos de tratamiento.(66)(67)(68)(21)

"Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético. Por otra parte, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, el nitrato y el nitrito también pueden ser liberados al aire, al agua y al suelo en lugares donde se producen o usan abonos o productos similares. Los desechos de seres humanos y de animales también son fuentes importantes de amoníaco. En ambientes aeróbicos, las bacterias rápidamente oxidan el amoníaco a nitrito y el nitrito a nitrato. Este proceso de dos etapas se conoce como nitrificación."(69) El agua residual contiene gran cantidad de estos compuestos, debido a los residuos generados del uso de productos agrícolas como el abono.

Estos compuestos generalmente se identifican en el proceso de tratamiento del agua bajo el método de lodos activados. Los Nitritos convierten la hemoglobina en la sangre a metamoglobina (reduce

la cantidad de oxígeno que se transporta en la sangre), por su parte los nitratos en altas concentraciones pueden producir afectaciones cardiovasculares.(69)

De acuerdo con lo mencionado en párrafos anteriores, la exposición a los diferentes contaminantes químicos depende de la concentración, el tiempo y la vía de ingreso, es importante indicar que, aunque el agua contiene elementos de origen natural, gran parte de los demás contaminantes provienen de residuos generados por productos químicos e incluso que hacen parte de los métodos para el tratamiento del agua.

TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS

CLASIFICACION AGENTES QUÍMICOS		
Metales	**Vía de ingreso**	**Efectos en la Salud**
Arsénico-As(70)	Consumo de agua	Cáncer, lesiones cutáneas, además del desarrollo de enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes(71)
Cadmio-Cd(70)(72)	Inhalación, ingesta de alimentos y consumo de agua (73)	Malestar general, fiebre, dolor torácico, edema agudo de pulmón, muerte por insuficiencia respiratoria. Diarrea, vómitos, dolor abdominal. Afección renal, falla hepática, anemia, alteraciones óseas.(73)
Cobalto-Co(70)	Ingesta, inhalación, contacto con la piel(74)	Intoxicación(74)
Cobre-Cu(72)	Ingesta, inhalación, contacto con la piel(75)	náusea, vómitos y diarrea, irritación de la nariz y la garganta, daño el hígado y los riñones(75)
Cromo-Cr(70)(72)(76)(77)(78)	Ingesta, inhalación(79)	Dañar la nariz y producir cáncer, producir anemia o dañar el estómago e intestinos(79)
Estaño	Ingesta, consumo de agua(80)	Paro respiratorio(80)
Níquel-Ni(81)	Ingesta, inhalación, contacto con la piel(82)	Reacción alérgica, dermatitis(82)

Mercurio-Hg(83)(46)(76)(72)	Ingesta(84)	Cáncer linfático, convulsiones y alteraciones del sistema nerviosos central(84)
Zinc-Zn(70)(72)(78)		
Halogenados	**Vía de ingreso**	**Efectos en la Salud**
Bromo(77)	Inhalación, dérmica, ingesta	corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación puede originar reacciones de tipo asmático y causar neumonitis.
Cloro(77)(81)(85)	Ingesta	
Yodo(77)		
Nitrogenados	**Vía de ingreso**	**Efectos en la Salud**
Nitrito(86)(46)(78)	Ingesta Exposición dérmica(87)	
Nitrato(86)(70)(46)(78)	Ingesta Exposición dérmica(87)	

11. Contaminantes Farmacológicos

Definimos un fármaco como *"un artículo o sustancia reconocido por la farmacopea de EE.UU; el formulario nacional o la farmacopea homeopática oficial, o un complemento de cualquiera de los anteriores, destinados a ser utilizado en el diagnóstico, cura, mitigación, tratamiento prevención de enfermedades en el hombre o animal destinados a afectar la estructura o cualquier función del cuerpo del hombre o de los animales "*(88) el fármaco es cualquier sustancia o sustancias químicas que se emplean para modificar la fisiología de los seres humano con el fin de prevenir o tratar enfermedades .

Del total de los 27 documentos seleccionados, cinco (5) autores mencionan la presencia de contaminantes farmacológicos en el agua residual, los cuales se ha clasificado de la siguiente manera: **Antiinflamatorios, analgésicos y antibióticos.**

11.1. Antiinflamatorios

Son medicamentos indicados en aquellos procesos dolorosos que cursan con inflamación (enrojecimiento, calor, hinchazón y dolor de la zona afectada). Un antiinflamatorio disminuye el enrojecimiento, el calor y la hinchazón y, además, alivia el dolor.(89) Dentro de los antinflamatorios mencionados por los autores, presentes en el agua residual, encontramos: **Naproxeno, Ibuprofeno, Diclofenaco, Indometacina, Ketoprofeno, Acetaminofén, Paracetamol, Flunixin.** (90)(91)(92)(62)

Analgésicos

Son medicamentos capaces de suprimir o disminuir el dolor.(89) Dentro de los analgésicos mencionados por los autores, encontramos: **Paracetamol, Hidromorfona, Codeína, Hidrocodona, Antipirina, entre otros.** (90)(91)

11.2. Antibióticos

Son medicamentos indicados para tratar infecciones bacterianas.(89) Los autores mencionan más de 15 antibióticos identificados en el agua residual, los más relevantes son: **Sulfonamidas,**

Macrólidos, Fluoroquinolonas, Cloranfenicol, Tetraciclina, Macrólido, Trimetoprima. (90)(91)(92)

De los cinco (5) autores que mencionan la presencia de contaminantes farmacológicos en el agua, solo el autor del documento "*Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment*"(93), quien menciona un gran número de contaminantes de tipo biológico, químico y farmacológico, indica que en los estudios realizados en determinada planta de tratamiento de agua residual, existe una gran variedad de Antibióticos, en los resultados del estudio realizado por el autor menciona que *"los métodos mecánicos y biológicos de tratamiento de aguas residuales que emplean no pueden eliminar estos micro contaminantes. Como resultado, las aguas residuales tratadas liberadas al medio ambiente importan antibióticos. La identificación de genes en las muestras de ADN bacteriano de hisopos del tracto respiratorio superior de empleados de la PTAR (EDAR en el documento) y del grupo de control, así como de muestras de aguas residuales, confirmó que el bioaerosol emitido durante el tratamiento de aguas residuales en el biorreactor con lodos activados puede ser una fuente de microorganismos resistentes a múltiples fármacos, que junto con el aire inhalado ingresan al sistema respiratorio de las personas que trabajan allí, lo que representa una amenaza para su salud"*(93). Este estudio también indica que el ambiente puede estar contaminado con cobre, zinc, cromo y arsénico, elementos que generan graves efectos adversos en la salud.

TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES FARMACOLÓGICOS

CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES FARMACOLOGICOS		
Antiinflamatorios	**Analgésicos**	**Antibióticos**
4-aminoantipirina(86)	Acetaminofén(47)(86)(94)(46)	Ácido clorhídrico(78) ácido fórmico(78) Acridona(86) Amoxicilina(86)(31)(78) Ampicilina(86)(83)(31)(78)(81) Azitromicina(86)
Acetaminofén(86)	Acetaminofeno(86)	Cefalexina(86) Cefoxitina(31) Ciprofloxacina(86)(46)(78)(81)(85) Citostáticos(46) Claritromicina(86)(46) Climbazol(95) Clindamicina(86)(78) Cloranfenicol Cloxaciclina Coprofloxacina
Diclofenaco(47)(86)(94)(46)(81)(85)	Antipirina(86)	Doxiciclina(86)(46)(78)
Paracetamol(86)	Butalbital	Enrofloxacino(46)(78) Eritromicina(47)(86)(46) Estreptomicina(83)
Flunixin(86)	Codeína(86)(46)	Flumequina(86) Fluoroquinolonas(47)
Ibuprofeno(47)(86)(85)	Hidrocodona(47)(86)	levofloxacina(78)
Indometacina(47)	Hidromorfona	Metronidazol(86)(46)
Ketoprofeno(86)	Paracetamol(47)(86)(46)(85)	Meticiclina(31)
Naproxeno(47)(86)(81)		Penicilina(83)(46)
		Sulfadimetoxina Sulfametaxazol(86)(46)(78)(81) (86)Sulfametazin(86)(46)(78)(81)

		Sulfapiridina Tetraciclina(47)(86)(83)(46)(78)(81) Tilosina(78) Triclosán(86) Trimetoprima(47)(86)(46)(78)

12. Discusión

En el transcurso de esta investigación se resaltan tres (3) documentos que brindan hallazgos de gran importancia que permiten de manera específica dar respuesta a la pregunta problema que lleva el hilo de la investigación:

"Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation"(96)

Uno de los hallazgos evidenciados en cuanto al objetivo de caracterizar los contaminantes biológicos, corresponde a la presencia de virus entéricos que se encuentran en las plantas de aguas residuales, ***debido a que estos no son completamente eliminados en el momento del tratamiento de dichas aguas***, generando una exposición potencial a los trabajadores que intervienen en su proceso, debido a que estos norovirus pueden sobrevivir por semanas y hasta meses en el ambiente. Dentro de los grupos de virus identificados el autor ensayó seis (6) virus entéricos de origen humano: Norovirus, Rotavirus, Enterovirus, Virus de la Hepatitis A y E. Dentro de los resultados y discusión que menciona el autor los Rotavirus, Norovirus y virus de la Hepatitis E, fueron los que más se detectaron en el estudio. El medio de transmisión del Rotavirus y Norovirus ocurre de manera Oro—Fecal generando en el organismo Gastroenteritis, Diarrea y Meningitis***. A partir de***

este hallazgo surge la necesidad de diseñar y aplicar metodologías de identificación, cuantificación, control y prevención de contaminantes biológicos que se encuentran en las plantas de tratamiento de aguas residual que pueden extenderse tanto en trabajadores como a la comunidad en general.

Teniendo en cuenta lo anterior, ***es importante diseñar y aplicar metodologías de medición del riesgo biológico*** en plantas de tratamiento de aguas residuales, que permitan identificar el tipo de contaminantes biológicos, sus vías de ingreso, efectos en la salud y medios de control para evitar su propagación en el ambiente laboral.

Ante el argumento anterior, se considera que el estudio realizado por el autor es consecuente pertinente y aporta en gran manera a la investigación dado que permite identificar, conocer y caracterizar cuales son los agentes biológicos que pueden interferir en la salud de los trabajadores.

"Wastewater-based epidemiology as a novel assessment approach for population-level metal exposure"(97)

Se destaca el documento debido a que el autor menciona los agentes químicos clasificados como metales, a través del uso de Biomarcadores (orina y materia fecal), por lo que le fue posible identificar la relación entre la exposición a metales (Manganeso, Cromo, Mercurio, Cadmio) de una población en general y el agua, con el objetivo de establecer intervenciones de orden epidemiológico y prevenir efectos graves en la salud de los humanos. Este documento es pertinente ya que con el uso de Biomarcadores permite identificar la concentración del metal en el organismo

y aplicándolo a nivel laboral lograr identificar el nivel de exposición al contaminante químico. Uno de los resultados de gran importancia en este estudio corresponde a la necesidad de intervenir los niveles de mercurio en el agua que pueden generar riesgos a la salud pública.

Como reflexión, cabe mencionar que ***a pesar de que este articulo precisa la exposición a nivel población sirve de insumo para orientar la utilización de Biomarcadores que permitan identificar la potencial exposición ocupacional en planta de tratamiento de aguas residuales verificando con inmediatez un cambio a nivel fisiológico que pone en riesgo el aumento del deterioro de la salud.***

"Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment"(93)

Se resalta la importancia de este documento, debido a la especificidad en el detalle de los contaminantes farmacológicos que están presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Este estudio se realizó en una planta de agua residual, donde estuvieron involucrados 15 empleados en un muestreo diario por quince (15) días, con hisopos nasales. Cabe indicar que, aunque este documento se enfoca en la identificación de bioaerosoles de origen bacteriano y su resistencia a los antibióticos que llegan al agua residual, es de gran insumo debido a que proporciona conocimiento respecto al tipo de agentes farmacológicos (Analgésicos, Antiinflamatorios, antibióticos) presentes en aguas residuales.

En cuanto a la revisión a nivel general, es evidente la falta de estudio, de metodologías y de investigación relacionado con la pregunta problema, es una problemática que suele ser invisibilizada pero que puede costar la vida de las personas que intervienen en sus procesos por la prevalencia de enfermedades del aparato respiratorio y a la inhalación de gotículas y aerosoles que pueden desencadenar en neumonía, infecciones en vías respiratorias, además de enfermedades crónicas como las gastroenteritis, diarreas acuosas, infecciones intestinales y cáncer13.

13. Conclusiones

La presente revisión sistemática recopiló y sintetizó la información relacionada con la presencia de contaminantes de origen biológico, químico y farmacológico en el agua en plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de identificar la potencial exposición a este tipo de contaminantes en los trabajadores involucrados en sus procesos.

Durante el proceso de investigación surge como limitante la falta de documentos relacionados con la pregunta de investigación que pudiesen dar sustento y desarrollo a la misma. Por otro lado, contextualizar la investigación en el caso colombiano resultó nulo debido a que en el proceso de selección no hubo resultados a nivel Nacional. Sin embargo, es posible considerar aterrizar algunos de los conceptos, metodologías y estrategias que posibiliten el mejoramiento de las condiciones de trabajo y la disminución de efectos adversos en la salud de los trabajadores de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual en Colombia.

Uno de los hallazgos principales en cuanto a los contaminantes biológicos en el agua, se refieren a la innumerable presencia de bacterias, virus, parásitos y hongos que generan distintas afecciones en la salud humana, que se concentran principalmente así: virus y bacterias en el sistema respiratorio, hongos en la dermis y parásitos en el sistema digestivo.

De los autores que nombran los contaminantes de origen biológico, solo uno especificó una enfermedad que atañe principalmente a los trabajadores involucrados en los procesos, nombrada "Síndrome del trabajador de aguas residuales", la cual genera enfermedades gastrointestinales, respiratorias, dolor de cabeza y fatiga derivado de la inhalación de bioaerosoles bacterianos.

En cuanto a los contaminantes químicos, como hallazgo relevante, se identifica la presencia de metales pesado en el agua, cuyas características principales radican en efectos irritantes, corrosivos y cancerígenos en los humanos, estos ingresan por inhalación, ingesta y contacto con la piel y pueden causar a nivel general enfermedades pulmonares, reacciones alérgicas y cáncer.

Cabe resaltar, que, en relación con los compuestos nitrogenados en el agua, son peligrosos si el consumo de nitratos y nitritos es elevado porque se correlaciona con un aumento en la incidencia de cáncer gástrico.

Debido a que los contaminantes de origen farmacológico se encuentran en cantidades subterapeuticas (no letales), no generan directamente alteraciones en la salud de los trabajadores de las plantas.

Solo el 48.2% de los municipios registrados en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, cuenta con algún tipo de planta de tratamiento de agua residual, razón por la cual se hace necesario que la cobertura de este tipo de plantas se amplié con el fin de garantizar el correcto tratamiento a las aguas residuales bajo condiciones de trabajo que disminuyan la exposición a agentes biológicos, químicos y farmacológicos y salvaguarden la salud de los trabajadores.

Finalmente, surge la reflexión respecto a la importancia de abordar y estudiar estos procesos investigativos que tengan como objeto identificar, caracterizar e intervenir las patologías que se puedan desencadenar en los trabajadores derivadas de la exposición a agentes contaminantes en el agua residual durante sus diferentes tratamientos.

14. Recomendaciones

De acuerdo con la reflexión, análisis y resultados obtenidos en la presente investigación, es pertinente hacer las siguientes recomendaciones enfocadas a la mejora de las condiciones de trabajo y disminución de la exposición a agentes contaminantes en plantas de tratamiento de aguas residuales:

A nivel Gubernamental se recomienda generar una política pública que contemple una normativa en Higiene Industrial en pro de garantizar condiciones seguras de trabajo y el derecho a la salud con el fin de mitigar la morbilidad laboral en los trabajadores de las plantas de tratamiento de agua

residual. Es importante considerar desde las carteras de Ambiente y Vivienda considerar en los reglamentos de agua potable y saneamiento básico las condiciones de diseño de las plantas de tratamiento de agua residual de modo que las condiciones de trabajo resultantes de su operación posibiliten el control en la fuente de contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos.

Desde el abordaje del aspecto académico, se considera importante continuar con la investigación que se enfoque a realizar loes estudios de evaluación de la exposición ocupacional a contaminantes químicos, biológicos y farmacológicos presentes en el agua residual de modo que se permita conocer el potencial de población trabajadora que puede resultar afectada en estos procesos, los efectos en salud y que a su vez permitan una oportuna intervención preventiva.

Es importante ***ampliar la formación del Higienista Industrial*** mediada por la interdisciplinaridad (Farmacología, **toxicología** y química), que permitan ampliar la perspectiva a nivel teórico-practico, teniendo en cuenta que estos procesos no se pueden desligar el uno del otro.

Fortalecer el programa de Higiene Industrial a través de la conexión de la academia con las instituciones encargadas de los procesos de Acueducto y Alcantarillado, Saneamiento básico y Tratamiento del Agua Residual que permita llevar a cabo la vigilancia de la exposición y epidemiológica de la población expuesta para seguir en el tiempo cuantitativamente los efectos de una exposición.

Finalmente, se sugiere a los profesionales en Higiene Industrial ser rigurosos y críticos en la indagación de los agentes que se encuentran en los ambientes de trabajo, en búsqueda de un

equilibrio laboral entre empleador y empleado que garantice condiciones seguras en los procesos productivos.

15. Referencias

1. CAR | Río Bogotá [Internet]. [cited 2022 Jan 15]. Available from: https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/9

2. Shankar R, Kumar S, Prasad AK, Khare P, Varma AK, Yadav VK. Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants. Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants. 2021;193–216.

3. Wasewar KL. Process intensification in wastewater treatments: basics of process intensification and inorganic pollutants. Contamination of Water. INC; 2021. 313–337 p.

5. Dutta A, Basu S, Mukherjee SK, Hossain ST. Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants. Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants. 2021;435–68.

6. Chaudhary VK, Singh SK, Srivastav AL, Singh A, Patel N, Patel A. Chemical water contaminants: potential risk to human health and possible remediation. Contamination of Water. INC; 2021. 157–172 p.

7. Lu R, Frederiksen MW, Uhrbrand K, Li Y, Østergaard C, Madsen AM. Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020;205.

8. Uhrbrand K, Schultz AC, Koivisto AJ, Nielsen U, Madsen AM. Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-advanced hospital wastewater treatment plant. Water Research. 2017;112:110–9.

9. Michael I, Rizzo L, McArdell CS, Manaia CM, Merlin C, Schwartz T, et al. Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: A review. Water Research. 2013;47(3):957–95.

10. Carbonel L. Sobre el significado de las definiciones de expuesto y exposición. 2011;

11. Antón D. El valor del agua. Ecología Política. 2000;(19):49–65.

12. Organización Mundial de la Salud. Agua. 2019;

13. Andrés Venegas Loaiza. Planta de tratamiento de aguas residuales. 2018;

14. Congreso. Constitución política de Colombia 1991 preámbulo el pueblo de Colombia. 1991;108.

15. De Vivienda M, Territorio Y, González JM, Luis J, Vergel A, Alonso H, et al. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2019 2 Menú REPÚBLICA DE COLOMBIA IVÁN DUQUE MÁRQUEZ presidente de la República. 2019;

16. Zorrilla A, Malvares G, Días R. De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Universidad de la República Facultad de Agronomía. 1998;4.

17. Colombia C de. LEY 9 DE 1979. Vol. 36, J Bone Joint Surg Am. 1979. p. 1–6.

18. Colombia C de. LEY 9 DE 1979. Vol. 36, J Bone Joint Surg Am. 1979. p. 1–6.

19. Lu R, Frederiksen MW, Uhrbrand K, Li Y, Østergaard C, Madsen AM. Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020;205.

20. Chen Y huan, Yan C, Yang Y fei, Ma J xin. Quantitative microbial risk assessment and sensitivity analysis for workers exposed to pathogenic bacterial bioaerosols under various aeration modes in two wastewater treatment plants. Science of the Total Environment [Internet]. 2021;755:142615. Available from: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142615

21. Zieliński W, Korzeniewska E, Harnisz M, Drzymała J, Felis E, Bajkacz S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment. Environment International. 2021;156.

22. Muzaini K, Yasin SM, Ismail Z, Ishak AR. Systematic Review of Potential Occupational Respiratory Hazards Exposure Among Sewage Workers. Vol. 9, Frontiers in Public Health. Frontiers Media S.A.; 2021.

23. Yakamercan E, Ari A, Aygün A. Land application of municipal sewage sludge: Human health risk assessment of heavy metals. Journal of Cleaner Production [Internet]. 2021;319(August):128568. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128568

24. Sostenible M de A y D. Resolución 1207 de 2014. 2021;6.

26. Resolucion+631-2015.pdf.

27. Colombia C de. LEY 55 DE 1993. Paper Knowledge Toward a Media History of Documents. 1993;5(2):40–51.

28. INSHT IN de S e H en el T. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos. 2014.

29. Yepes-Núñez JJ, Urrutia G, Romero-García M, Alonso-Fernández S. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. Revista Española de Cardiología (English Edition). 2021;74(9):790–9.

30. Código internacional de ética para los profesionales de la Salud Ocupacional. 2007;

31. Lu R, Frederiksen MW, Uhrbrand K, Li Y, Østergaard C, Madsen AM. Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020;205.

32. Kenneth J Ryan, C. George Ray. Microbiología Médica. Quinta Edi. George RKJ; RC, editor. 2011. 793 p.

33. E. coli [Internet]. [cited 2022 Jan 15]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli

34. Courault D, Albert I, Perelle S, Fraisse A, Renault P, Salemkour A, et al. Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. Science of the Total Environment. 2017 Aug 15;592:512–26.

35. de Matos Nascimento A, de Paula VR, Diaz EHO, da Costa Carneiro J, Otenio MH. Quantitative microbial risk assessment of occupational and public risks associated with bioaerosols generated during the application of dairy cattle wastewater as biofertilizer. Science of the Total Environment [Internet]. 2020;745:140711. Available from: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140711

36. Legionellosis [Internet]. [cited 2022 Jan 15]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/legionellosis

37. Kenneth J Ryan, C. George Ray. Microbiología Médica. Quinta Edi. George RKJ; RC, editor. 2011. 793 p.

38. Infección Acinetobacter Baumannii Care Guide Information En Espanol [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.drugs.com/cg_esp/infección-acinetobacter-baumannii.html

39. Actinomicosis - Infecciones - Manual MSD versión para público general [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.msdmanuals.com/es-co/hogar/infecciones/infecciones-bacterianas-bacterias-anaerobias/actinomicosis

40. Arthrobacter: características, taxonomía, morfología, síntomas [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.lifeder.com/arthrobacter/

41. Infection Acinetobacter Baumannii Care Guide Information En Espanol [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.drugs.com/cg_esp/infección-acinetobacter-baumannii.html

42. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Pseudomonas aeuroginosa. DATABio. 2016;1:1–5.

43. Courault D, Albert I, Perelle S, Fraisse A, Renault P, Salemkour A, et al. Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. Science of the Total Environment. 2017;592:512–26.

44. Fronteras | Evidencia epidemiológica y riesgos para la salud asociados con la reutilización agrícola de aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas: una revisión | Salud pública [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2018.00337/full

45. Chen Y huan, Yan C, Yang Y fei, Ma J xin. Quantitative microbial risk assessment and sensitivity analysis for workers exposed to pathogenic bacterial bioaerosols under various aeration modes in two wastewater treatment plants. Science of the Total Environment. 2021;755:142615.

46. Khan NA, Ahmed S, Farooqi IH, Ali I, Vambol V, Changani F, et al. Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review. TrAC - Trends in Analytical Chemistry. 2020;129.

47. Tiwari B, Sellamuthu B, Ouarda Y, Drogui P, Tyagi RD, Buelna G. Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. Bioresource Technology. 2017;224:1–12.

48. Yakamercan E, Ari A, Aygün A. Land application of municipal sewage sludge: Human health risk assessment of heavy metals. Journal of Cleaner Production. 2021;319(August):128568.

49. Han Y, Yang K, Yang T, Zhang M, Li L. Bioaerosols emission and exposure risk of a wastewater treatment plant with A2O treatment process. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2019;169(November 2018):161–8.

50. Hermoso CC. El paciente quemado. Fundamentos de la infección en cirugía digestiva. 2020;79(4):579–94.

51. Koul M, Singh S. Penicillium spp. Anti-Cancer Drugs. 2017;28(1):11–30.

52. Vida [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: http://www.life-worldwide.org/esp/fungal-diseases/rhodotorula-mucilaginosa

53. ¿Qué es? - Scopulariopsis [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://candidiasisweb.com/que-es/scopulariopsis.php

54. Wallemia - Wikiwand [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.wikiwand.com/es/Wallemia

55. Metal [Internet]. [cited 2022 Jan 18]. Available from: https://www.quimica.es/enciclopedia/Metal.html

56. Londoño-franco LF, Muñoz PT, Muñoz-García FG. EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL RISK OF HEAVY METALS IN HUMAN AND ANIMAL HEALTH RISCO DE METAIS PESADOS NA SAÚDE HUMANA E ANIMAL. 2016;14(2):145–53.

57. Dionisio KL, Phillips K, Price PS, Grulke CM, Williams A, Biryol D, et al. Data Descriptor: The Chemical and Products Database, a resource for exposure-relevant data on chemicals in consumer products. Scientific Data. 2018 Jul 10;5.

58. El mercurio y la salud [Internet]. [cited 2022 Jan 18]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health

59. Intoxicación por plomo [Internet]. [cited 2022 Jan 18]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health

60. Wasewar KL. Process intensification in wastewater treatments: basics of process intensification and inorganic pollutants [Internet]. Contamination of Water. INC; 2021. 313–337 p. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00011-6

61. Zieliński W, Korzeniewska E, Harnisz M, Drzymała J, Felis E, Bajkacz S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment. Environment International. 2021;156.

62. Titchou FE, Zazou H, Afanga H, el Gaayda J, Akbour RA, Hamdani M. Removal of Persistent Organic Pollutants (POPs) from water and wastewater by adsorption and electrocoagulation process. Groundwater for Sustainable Development [Internet]. 2021;13(January):100575. Available from: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100575

63. Azizi D, Arif A, Blair D, Dionne J, Filion Y, Ouarda Y, et al. A comprehensive review on current technologies for removal of endocrine disrupting chemicals from wastewaters. Environmental Research [Internet]. 2021;(xxxx):112196. Available from: https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112196

64. PUBCHEM. Structures 1.1 2D Structure PubChem 1.2 3D Conformer PubChem. Available from: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24526

65. Saravanan A, Senthil Kumar P, Jeevanantham S, Karishma S, Tajsabreen B, Yaashikaa PR, et al. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. Chemosphere [Internet]. 2021;280:130595. Available from: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130595

66. Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Guo W, Thomaidis NS, Xu J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. Journal of Hazardous Materials [Internet]. 2017;323:274–98. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045

67. Yang T, Han Y, Liu J, Li L. Aerosols from a wastewater treatment plant using oxidation ditch process: Characteristics, source apportionment, and exposure risks. Environmental Pollution [Internet]. 2019;250:627–38. Available from: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.071

68. Khan NA, Ahmed S, Farooqi IH, Ali I, Vambol V, Changani F, et al. Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review. TrAC - Trends in Analytical Chemistry. 2020;129.

69. Resumen de Salud Pública: Nitrato y Nitrito (Nitrate/Nitrite) | PHS | ATSDR [Internet]. [cited 2022 Jan 18]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.html

70. Yang T, Han Y, Liu J, Li L. Aerosols from a wastewater treatment plant using oxidation ditch process: Characteristics, source apportionment, and exposure risks. Environmental Pollution. 2019;250:627–38.

71. Arsénico [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic

72. Markosian C, Mirzoyan N. Wastewater-based epidemiology as a novel assessment approach for population-level metal exposure. Science of the Total Environment. 2019;689:1125–32.

73. EL CADMIO Y SU EFECTO EN LA SALUD HUMANA [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: http://www.medicina.ues.edu.sv/unica/index.php?option=com_content&view=article&id=106:el-cadmio-y-su-efecto-en-la-salud-humana&catid=30:esp-medicina-interna&Itemid=157

74. Intoxicación con cobalto: MedlinePlus enciclopedia médica [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002495.htm

75. ToxFAQsTM: Cobre (Copper) | ToxFAQ | ATSDR [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html

76. Saravanan A, Senthil Kumar P, Jeevanantham S, Karishma S, Tajsabreen B, Yaashikaa PR, et al. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. Chemosphere. 2021;280:130595.

77. Wasewar KL. Process intensification in wastewater treatments: basics of process intensification and inorganic pollutants. Contamination of Water. INC; 2021. 313–337 p.

78. Zieliński W, Korzeniewska E, Harnisz M, Drzymała J, Felis E, Bajkacz S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment. Environment International. 2021;156.

79. ToxFAQsTM: Cromo (Chromium) | ToxFAQ | ATSDR [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html

80. Resumen de Salud Pública: Estaño y compuestos de estaño | PHS | ATSDR [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs55.html

81. Titchou FE, Zazou H, Afanga H, El Gaayda J, Ait Akbour R, Nidheesh PV, et al. Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification. 2021;169(June):108631.

82. Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel) | PHS | ATSDR [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html

83. Wu B. Human health hazards of wastewater. High-Risk Pollutants in Wastewater. Elsevier Inc.; 2019. 125–139 p.

84. El mercurio y la salud [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health

85. Azizi D, Arif A, Blair D, Dionne J, Filion Y, Ouarda Y, et al. A comprehensive review on current technologies for removal of endocrine disrupting chemicals from wastewaters. Environmental Research. 2021;(xxxx):112196.

86. Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Guo W, Thomaidis NS, Xu J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. Journal of Hazardous Materials. 2017;323:274–98.

88. Pharma Guidelines USFDA WHO GMP QMS Quality Assurance Validation Pharmaceutical Manufacturing: Drug definition US FDA Drug approval process [Internet]. [cited 2022 Jan 19]. Available from: https://www.pharmacistspharmajournal.org/2010/11/definitions-of-drug-radioactive-drug_11.html

89. Colegio Oficial de Farmacéuticos de A Coruña Analgésicos, antiinflamatorios, antibióticos: úsalos de forma correcta [2007] [Internet]. [cited 2022 Jan 18]. Available from: https://www.cofc.es/campana/14-analgesicos-antiinflamatorios-antibioticos-usalos-de-forma-correcta

90. Tiwari B, Sellamuthu B, Ouarda Y, Drogui P, Tyagi RD, Buelna G. Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. Bioresource Technology [Internet]. 2017;224:1–12. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.042

91. Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Guo W, Thomaidis NS, Xu J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. Journal of Hazardous Materials [Internet]. 2017;323:274–98. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045

92. Khan NA, Ahmed S, Farooqi IH, Ali I, Vambol V, Changani F, et al. Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review. TrAC - Trends in Analytical Chemistry. 2020;129.

93. Zieliński W, Korzeniewska E, Harnisz M, Drzymała J, Felis E, Bajkacz S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment. Environment International. 2021;156.

94. Pedrazzani R, Bertanza G, Brnardić I, Cetecioglu Z, Dries J, Dvarionienė J, et al. Opinion paper about organic trace pollutants in wastewater: Toxicity assessment in a European perspective. Science of the Total Environment. 2019;651:3202–21.

95. Qian Y, Wang X, Wu G, Wang L, Geng J, Yu N, et al. Screening priority indicator pollutants in full-scale wastewater treatment plants by non-target analysis. Journal of Hazardous Materials. 2021;414(October 2020):125490.

96. Courault D, Albert I, Perelle S, Fraisse A, Renault P, Salemkour A, et al. Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. Science of the Total

Environment [Internet]. 2017;592:512–26. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.105

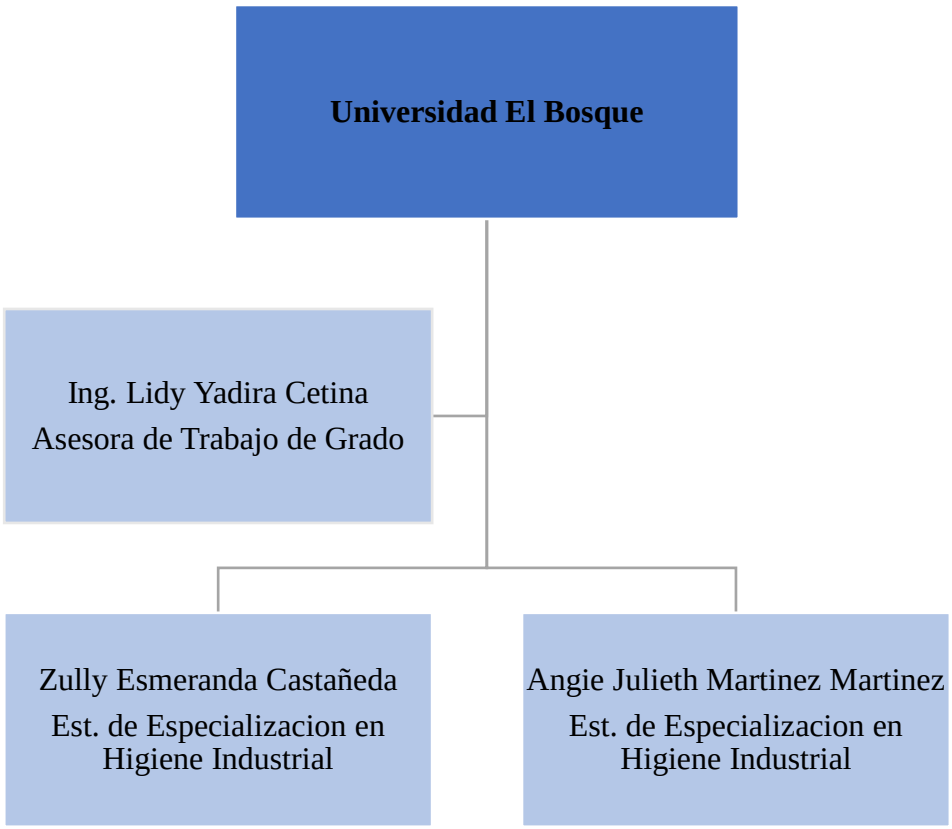
97. Markosian C, Mirzoyan N. Wastewater-based epidemiology as a novel assessment approach for population-level metal exposure. Science of the Total Environment [Internet]. 2019;689:1125–32. Available from: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.419

16. Anexos

16.1. Organigrama

El presente organigrama de trabajo de grado determina la jerarquización de los integrantes del equipo investigador y el rol que cada uno desempeñó.

ILUSTRACIÓN 8. ORGANIGRAMA



Fuente: Elaboración propia

16.2. Cronograma

Tabla 9. Cronograma de Actividades 2021-2022

Actividades	Semanas																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Planeación																															
Plantemaineto del problema																															
Determinacion de Recursos																															
Procesamiento de la información																															
Elaboracion matriz para cargue de informacion																															
Diligenciamiento Base de datos de busqueda estrategica																															
Análisis de la información																															
Lectura y analisis de documentos seleccionados																															
Elaboracion de tablas de resultados y analisis de documentos																															
Elaboración del documento final de trabajo de grado																															
Elaboracion documento de grado																															
Comunicación de los resultados																															
Sustentacion trabajo de grado																															

Fuente: Universidad el Bosque