



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

Diseño de una metodología para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal

TESIS

Para obtener el título de Licenciada en ingeniería Petroquímica

Presenta

Carmen Izamara Antonio Macedo

Directores de tesis:

Asesor Académico:
Dr. Arturo Colín Cruz

Co-asesor:
Dr. Jesús Alfredo Liévanos Barrera

Octubre 2022



INDICE

Índice de figuras	8
Índice de tablas.....	10
Resumen.....	11
Palabras clave.....	12
Abstract.....	12
Planteamiento del problema	14
Pregunta de investigación.....	17
Hipótesis	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	17
Introducción	18
Antecedentes	22
Capítulo 1. Marco teórico	27
Importancia del análisis bibliométrico.....	27
1.1.1 Concepto de bibliometría	27
1.1.2 Revisión bibliométrica.....	27
1.1.3 Productividad científica de artículos publicados.....	28
1.1.4 Indicadores bibliométricos.....	28
1.1.5 Factor de impacto.....	28
1.1.6 Nivel de Investigación.....	29
1.1.7 Índice de inmediatez	29
1.1.8 Índice H.....	30
Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	30
1.1.9 Impacto ambiental generado por las aguas residuales de origen municipal	30

1.1.10 Características de las aguas residuales	30
1.1.11 Finalidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales	31
1.1.12 Patentes para tratamiento de aguas residuales.....	31
1.1.13 Tipos de tratamiento de aguas residuales	32
Capítulo 2. Metodología	34
2.1.1 Parámetros estadístico de las publicaciones.....	34
2.1.2 Diseño estadístico	34
2.1.3 Fases de la metodología	35
Resultados y Discusión	43
Conclusiones.....	75
Referencias Bibliográficas.....	77

Índice de figuras

	Figuras	Página
Figura 1	Diagrama del proceso de tratamiento de aguas residuales (Elaboración propia).	32
Figura 2	Diagrama con fases de la metodología para el estudio bibliométrico sobre lodos residuales (Elaboración propia).	37
Figura 3	H-index mínimo y máximo para Scopus y Google Scholar en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).	55
Figura 4	Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre Lodos Residuales de origen municipal. Promedio 861 (Elaboración propia).	61
Figura 4a.	Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre Lodos Residuales de origen municipal. Promedio 861 (Elaboración propia).	62
Figura 4b.	Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre Lodos Residuales de origen municipal. Promedio 861 (Elaboración propia).	63
Figura 4c.	Número de artículos no categorizados en el periodo 2000 a 2020 sobre Lodos Residuales (Elaboración propia).	64
Figura 5	Categorías y subcategorías con mayor número de artículos publicados en el periodo 2000 a 2010 sobre Lodos Residuales de origen municipal (Elaboración propia).	66
Figura 6	Categorías y subcategorías con mayor número de artículos publicados en el periodo 2011 a 2020 sobre Lodos Residuales de origen municipal (Elaboración propia).	67

Figura 7	Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categorías y subcategorías con mayor Número de publicaciones y su coeficiente de correlación (Elaboración propia).	70
Figura 8	Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría “Waste” y sus subcategorías “Application” y “Compost” (Elaboración propia).	71
Figura 9	Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría “Degradation” y sus subcategorías “Activation” y “Aerobic” (Elaboración propia).	72
Figura 10	Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría “Entity” y su subcategoría “Municipal” (Elaboración propia).	73
Figura 11	Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría “Risk” y su subcategoría “Effects” (Elaboración propia).	74

Índice de tablas

	Tablas	Página
Tabla 1	Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 al 2020, se presentan en inglés por realizar la búsqueda en este idioma (pirbi), (Elaboración propia).	41
Tabla 2	Definición de categorías sobre Lodos Residuales de artículos publicados en 2000 a 2020 (pirbi), (Elaboración propia).	44
Tabla 3	Categorías y subcategorías sobre Lodos Residuales de artículos publicados en 2000 a 2020 (Elaboración propia).	51
Tabla 4	Categorías y subcategorías con mayor a 393 artículos publicados por año en 2000 a 2020 (Elaboración propia).	53
Tabla 5	Base de datos que muestra el H-Index para Scopus y Google Scholar en un mínimo (Min) y un máximo (Max), (Elaboración propia).	54
Tabla 6	Número de publicaciones mayor al promedio de 861 artículos por categoría en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).	65
Tabla 7	Número de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).	68

Resumen

El objetivo del presente proyecto es proponer una metodología, para conocer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal de los años 2000 a 2020. Para ello, se realizó un trabajo bibliométrico, empleando el software Harzing's Publish or Perish v. 8.1, que permite agrupar a través de categorías y subcategorías los artículos publicados en el periodo que se estudia con la finalidad de visualizar una posible tendencia sobre temas como es el caso de lodos residuales proveniente de PTARs de ámbito municipal. La metodología que se empleó para determinar la directriz temática, se basa en el análisis bibliométrico, una herramienta ampliamente utilizada por los investigadores para examinar las tendencias globales en determinados temas o áreas específicas que impactaran directamente a la sociedad y en este caso a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs).

Se proponen 12 categorías y 44 subcategorías, dicha metodología se integra en un **“Diagrama con 4 fases de la metodología propuesta para el estudio bibliométrico sobre lodos residuales”**. Los resultados muestran un modelo que refiere la tendencia en investigación y de los 18,083 títulos estudiados 15,808 (87.4 %) fueron categorizados, 1,975 (10.9 %) no categorizados y 300 (1.7 %) se excluyeron por corresponder a otro idioma. También se observa que ocho categorías de las 12 en estudio corresponden a Degradation, Distribution, Entity, Land, Risk, Treatment, Waste y Not Categorized (se incluyen en inglés por así realizar la búsqueda en la base de datos) y que representan 12,582 (69.6 %) de artículos revisados y encontrando que para las Categorías se tiene la siguiente tendencia en publicaciones:

“Waste” 2,312 > “Degradation” 1857 > “Entity” 1195 > “Risk” 1001

y para las Subcategorías el modelo encontrado es:

“Compost” 1,366 > “Municipal” 1195 > “Effects” 1001 > “Activation” (990) > “Application” 946 > “Aerobic” 867.

La investigación en el rubro de lodos residuales o también llamados biosólidos es abundante, pero existe poco sobre la tendencia futura de estos temas que son muy importantes para el investigador, permitiéndole orientar o reorientar los trabajos. Al conocer las tendencias sobre los procesos emergentes de tratamiento de aguas residuales se podrán direccionar las investigaciones y encontrar una línea documental en la cual basarse para continuar con la recopilación de información que sea útil para mejorar los procesos o implementar unos nuevos.

Palabras clave:

Indicadores bibliométricos; metodología; lodos residuales; PTARs; tecnología; tendencia; publish; plan de programación.

Abstract

The objective of this project is to propose a methodology to know the direction of scientific research related to sewage sludge from municipal STPs from the years 2000 to 2020. For this purpose, a bibliometric study was carried out, using the Harzing's software, Publish or Perish v. 8.1, which allows grouping through categories and subcategories the articles published in the period under study to visualize a possible trend on topics such as the case of sewage sludge from municipal STPs. The methodology used to determine the thematic guideline is based on bibliometric analysis, a tool widely used by researchers to examine global trends in certain topics or specific areas that have a direct impact on society and, in this case, on sewage Treatment Plants (STPs).

Twelve categories and 44 subcategories are proposed, said methodology is integrated in a "Diagram with 4 phases of the proposed methodology for the bibliometric study on sewage sludge". The results show a model that refers to the trend in research and of the 18,083 titles studied, 15,808 (87.4 %) were categorized, 1,975 (10.9 %) were not categorized and 300 (1.7 %) were excluded because they correspond to another language. It is also observed that eight of the 12 categories under study correspond to Degradation, Distribution, Entity, Land, Risk, Treatment, Waste and Not Categorized (included in English to perform the search in the database) and that they represent 12,582 (69.6 %) of articles reviewed and finding that for the Categories the following tendency in publications

"Waste" 2,312 > "Degradation" 1857 > "Entity" 1195 > "Risk" 1001

and for the Subcategories the model found is

"Compost" 1,366 > "Municipal" 1195 > "Effects" 1001 > "Activation" (990) > "Application" 946 > "Aerobic" 867.

Research in the area of sewage sludge or also called biosolids is abundant, but there is little on the future trend of these topics that are very important for the researcher, allowing him to guide or reorient the work. By knowing the trends on the emerging processes of wastewater treatment, it will be possible to direct the research and find a documentary line on which to base to continue with the collection of information that is useful to improve the processes or implement new ones.

Planteamiento del problema

Las publicaciones científicas mediante métodos de investigación han intentado profundizar diversos temas de estudio de los que antes se desconocía, enriqueciendo considerablemente la fuente de información que sirve de guía para los investigadores de estas ramas, estos documentos de fuentes confiables dónde se desarrollan diversos temas, se muestran resultados y procedimientos, generalmente constituyen una de las mayores fuentes de información que los estudiantes, académicos y público en general pueden analizar, los investigadores realizan las publicaciones de artículos con la finalidad de generar impacto o aportar mayor conocimiento a sus colegas o alumnos, sin embargo en las últimas décadas se ha notado un considerable incremento de publicaciones científicas pero de bajo impacto, por lo cual es necesario que se establezca un indicador mediante el cual se pueda guiar a los especialistas e investigadores a seguir innovando en sus publicaciones y enriqueciendo aquellas que generan mayor impacto y que ayudan a resolver problemas de la sociedad.

En el ámbito de investigación de tratamiento de aguas residuales no existe una metodología específica que dirija las futuras investigaciones, sabemos que la innovación en los procesos emergentes permitirá encontrar nuevas alternativas donde se logren aplicar nuevos métodos para aumentar la eficiencia y obtener agua más limpia, optimizar procesos y orientar a los autores de las futuras publicaciones científicas, esta herramienta metodológica generalmente permitirá hacer más sencilla la tarea de los investigadores al momento de seguir las líneas de investigación.

Establecer una directriz en las tendencias de investigación científica sobre lodos residuales en el periodo 2000 a 2020 permitiría en los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales obtener un indicador clave para complementar las investigaciones y seguir una línea documental, siendo útil para diversas áreas como

la petroquímica, entre otras y permitirá responder una de las principales interrogantes.

¿Qué tendencia ha seguido la investigación científica sobre lodos residuales de las PTARs municipales en los últimos 20 años?

En el área de la petroquímica disminuir el impacto ambiental es lo primordial, y las investigaciones científicas van encaminadas a la innovación en los subproductos derivados del tratamiento de aguas residuales para permitir obtener otros de uso comercial como los fertilizantes; el fósforo que es un elemento de uso agrícola es obtenido del lodo residual y mediante un proceso de adición de cal (CaO) al lodo residual se logran eliminar malos olores, microorganismos patógenos y bacterias, al aumentar el pH del medio por cierto tiempo definido que va desde las 2 horas son eliminados, la cantidad de cal depende de que tipo de lodo se emplea, los lodos primarios utilizan menor cantidad que los activados, este es uno de los métodos más rentables y el más usado para terrenos ácidos, en la escala de pH se considera ácido cuánto tiene un pH de 7 a 4 y alcalino de 7 a 10, en el tipo de suelo ácido las plantas no son capaces de absorber fósforo, en cambio en los suelos alcalinos las deficiencias suelen ser de boro, zinc y cobre.

Otra área de oportunidad con subproductos del tratamiento de aguas residuales es la producción de biocombustibles, esto se hace mediante el cultivo de microalgas que son microorganismos utilizados para la obtención de biodiésel, las especies más comunes para estos tratamientos son *Chlorella sorokiniana* y *Scenedesmus dimorphus* que se obtienen de la descomposición de bacterias y mediante el proceso de extracción de lípidos se logra obtener biodiésel y otros derivados como la glicerina, cabe mencionar que su importancia también radica en la absorción de dióxido de carbono (CO₂) que es uno de los gases de efecto invernadero causante del calentamiento global, su producción da paso a la segunda generación de biocombustibles.

La producción de plásticos biodegradables también es posible por medio de las cianobacterias o algas verde-azuladas, que son la materia prima de los plásticos ecológicos y por medio de polímeros naturales de estas algas se pueden producir gránulos usados para fabricar artículos de plástico biodegradable.

Esto permite que se abra una gran área de investigación en el ámbito de la petroquímica, en la que se logren obtener diversos usos de gran importancia disminuyendo el impacto ambiental ya que se pueden sustituir combustibles fósiles por biocombustibles y sus derivados.

Pregunta de investigación

¿Qué tendencia ha seguido la investigación científica sobre lodos residuales de las PTARs municipales en los últimos 20 años?

Hipótesis

Es posible proponer una metodología para establecer una tendencia en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal en el periodo de 2000 a 2020.

Objetivo general

Proponer una metodología, para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal en el periodo 2000 a 2020.

Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda de artículos científicos indexados en Scopus y Google Scholar (por Elsevier y Google) en el periodo de 2000 al 2020.
- Clasificar la información documental en categorías y subcategorías de los artículos publicados en los últimos 20 años y su correlación
- Inferir las futuras tendencias por medio de la directriz de investigación en los artículos publicados.

Introducción

Las actividades cotidianas que se realizan en la industria, hogares y demás suelen cumplir con la finalidad de brindar mayor comodidad a la sociedad, mejor calidad de vida y un creciente desarrollo económico, sin embargo, las consecuencias que esto ocasiona son muchas, entre ellas la generación de residuos que pueden resultar peligrosos para el medio ambiente y la salud. La contaminación ambiental ha sido un tema que ha generado debate por muchos años y cabe mencionar que entre más creciente es la economía de los países, los avances tecnológicos y la innovación, también se puede notar un considerable incremento en la generación de residuos que son vertidos al agua, principalmente de origen municipal e industrial que resulta muy preocupante, esto a su vez desencadena que cada vez se requiera de nuevos métodos para el tratamiento de esos residuos con la finalidad de disminuir el impacto ambiental y dar un segundo uso comercial a esos desechos de distintos orígenes que son generados en grandes cantidades diariamente, las aguas residuales generadas siguen su proceso de desecho en alcantarillados donde se mezclan con las aguas que provienen de diferentes orígenes. En el tratamiento de aguas residuales, se obtiene un subproducto denominado lodo residual.

Los lodos residuales son el principal subproducto que provienen de los desechos del tratamiento de estas aguas, están compuestos por una mezcla de agua con diversos contaminantes sólidos, coloidales y disueltos que suelen ser muy peligrosos a la salud: para prevenir que contaminen el ambiente entonces, es necesario un tratamiento que permita eliminar la mayoría de los contaminantes y se le pueda dar un uso comercial como para la producción de fertilizantes que ayudan al crecimiento de cultivos, los lodos residuales son sometidos a un tren de tratamiento a través de procesos mecánicos, químicos y biológicos, esto implica un saneamiento de lodos residuales para su uso final tanto del agua como del residuo sólido bajo el criterio de economía circular y desarrollo sustentable.

Los lodos residuales o biosólidos concentran una infinidad de problemas de manejo que van desde la generación, composición, producción, almacenamiento, tratamiento, uso, disposición final y gestión.

Por ello, se han generado muchas líneas de investigación para resolver los problemas que se presentan en dicho manejo de lodos residuales, a través de tendencias en procesos que marcan los problemas a resolver como es el caso de tratamientos biológicos como; lodos activados, procesos aerobios, anaerobios, lagunas de estabilización, filtros biológicos, lagunas de oxidación, humedales, entre otros propios del tratamiento de aguas residuales de origen municipal.

De igual forma, se han realizado Investigaciones específicas sobre revisión de la literatura para evaluar el número y cantidad de sustancias químicas en los lodos residuales en todo el mundo, y a) establecer técnicas de extracción, b) procesos analíticos en general utilizados para aislar e identificar estos compuestos, y c) evaluar el destino y transporte en el medio ambiente de los contaminantes como resultado de la eliminación y reutilización de lodos residuales (Rolsky et al., 2020). Investigar la tendencia que siguen estos estudios, es adelantar la solución a problemáticas que surgen día a día para dar solución oportuna, factible y veraz.

Actualmente existen muchos programas que ofrecen distintas formas de visualizar la ciencia a partir de la extracción de los metadatos. Por ejemplo, Pajek y Gephi sirven para el análisis de redes en general; Bibexcel, CiteSpace, Sci2 y VOSviewer para construir, analizar y visualizar redes bibliométricas; HistCite y CitNetExplorer para visualizar redes de citación. Específicamente, la visualización de redes bibliométricas, también llamada mapeo científico, ha tomado gran interés especialmente por investigadores en el campo de las métricas de la información, evidenciando la necesidad de contar con herramientas y técnicas de visualización para representar la producción científica (Van Eck y Waltman 2014).

Mediante el uso de indicadores bibliométricos estándar se informa de los tipos de documentos, fuentes, años de publicación, idioma de las publicaciones, área temática, título de la fuente más activa, palabras clave, distribución de publicaciones por países, autoría, análisis de textos, instituciones más activas y análisis de citas.

En esta investigación se utilizó un programa llamado Harzing, Publish or Perish v. 8.1, para conocer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal durante un período de tiempo de 20 años. Por lo tanto, se analizó la literatura científica, varios tipos de documentos publicados relacionados con el Dropbox en base a los datos obtenidos de Scopus y Google Scholar mediante el uso del software para combinar los datos obtenidos, VOS Viewer Software para visualizar los datos y Microsoft Excel para analizar los resultados obtenidos (Azmi & Hussain, 2021).

Construyendo así una metodología para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal, la razón principal de analizar este tema es por la necesidad de conocer la dirección que han seguido las investigaciones científicas, cuáles han generado mayor impacto y porqué han sido más exitosas, en el rubro del tratamiento de aguas residuales se busca inferir en las futuras tendencias de investigación mediante los artículos científicos y su impacto, clasificando aquellas categorías que han presentado un mayor cantidad de artículos citados, publicados por año y como han impactado en el ámbito científico, ayudando a establecer nuevas rutas a seguir para optimizar los proceso de tratamiento de aguas residuales municipales, con el software instalado se tiene una gran base de datos de distintas fuentes, artículos de alto impacto, y su clasificación, el estudio de estos artículos empieza desde el momento de su instalación, la aplicación permite acceder a distintas herramientas de búsqueda, la recolección de datos es bastante amplia y se debe clasificar y agrupar, claro no sin antes eliminar aquellas publicaciones que no generan alto impacto en el ámbito científico, su análisis final permitirá que se agrupen datos, se clasifique y se obtenga la metodología a seguir para encontrar la directriz, por esta

razón es que se tomó un período de tiempo bastante amplio, ya que con esto se identificarán variaciones a lo largo de los años por medio de gráficas y modelos.

La búsqueda comparativa de los buscadores utilizados ayuda a ampliar la base de datos inicial de la cual se inicia a clasificar toda la información necesaria para lograr el objetivo principal de esta tesis.

Antecedentes

Las tendencias de publicaciones en relación a los lodos residuales provenientes de las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTARs) ha mejorado después de 2010 (Zheng et al. 2017; Herrera-Navarrete et al. 2021; Herrera-Navarrete et al. 2022) . Sin embargo, la tendencia en las categorías que se investigan es muy diversa y por ello, se requiere conocer la directriz que marca el rumbo de la investigación sobre los lodos residuales que generan las PTARs. En estas categorías se identifican algunas de interés en la investigación; como ejemplos; comunidades microbianas (López-Valdez et al. 2010; López et al. 2020; Zhao et al. 2021), toxicidad (Jalili et al. 2019; Liang et al. 2020; da Silva Souza et al. 2020), recuperación de materiales (Villalobos-Delgado et al. 2021; Olkiewicz et al. 2015; Fonts et al. 2012; Wang, Li, and Poon 2019) y gestión (J. Zhao et al., 2020) (G. Chen et al., 2021) (Grobela, Grosser, Kacprzak, & Kamizela, 2019), entre otras categorías.

La investigación en el rubro de lodos residuales o también llamados biosólidos es abundante, pero existe poco sobre la tendencia futura de investigación sobre este tema y es importante para el investigador orientar o reorientar los trabajos. Algunos autores como Zhang et al. (2017), hacen un resumen de los artículos hasta 2017 que están disponibles sobre el tratamientos de lodos y su posible tendencia de investigación, cabe mencionar que la importancia de conocer la directriz en las investigaciones científicas para los investigadores se deriva partiendo de hipótesis propuestas por medio de diversos procesos sistemáticos a través de una fuente de información confiable para conocer la validez que tienen, de esta manera se van generando las nuevas fuentes de información en cuanto a temas de interés público, encaminadas a la innovación, para crear nuevos métodos, estas investigaciones buscan principalmente enfocarse en encontrar distintas alternativas para satisfacer necesidades básicas, siempre teniendo en cuenta uno de los principales objetivos en el desarrollo sostenible, el objetivo 6 **“agua limpia y saneamiento”**, dónde se analizan las enfermedades asociadas a patógenos presentes en el agua

contaminada, ya que las aguas residuales representan un foco de riesgo principalmente para el entorno de las personas y su salud.

En cuanto al aspecto de participación se refieren dichos autores a que se encuentran temas como; producción, recuperación, destino, transformación de contaminantes emergentes, uso de modelos detallados de reacciones biológicas, tratamiento de productos químicos, farmacéuticos como disruptores endocrinos y el desarrollo de procesos térmicos y transformación de metales pesados e instrumentación y control para optimizar el rendimiento del tratamiento, entre otros (Zhang et al., 2017). En el aspecto de la liberación, los mismos autores enfatizan el desarrollo de procesos térmicos en lodos con cambio y transformaciones de metales pesados en lodos durante el tratamiento, lo cual, es un enfoque para desarrollar investigación. También reportan el uso de modelos detallados de reacciones biológicas y de fluidos y sistemas avanzados de instrumentación y control para optimizar el rendimiento del tratamiento que son aspectos destacados de la investigación (Zhang et al., 2017).

Los hallazgos importantes obtenidos del análisis de muestras de lodos de aguas residuales municipales son la clave en inventarios. Por ejemplo, al evaluar el contenido de sustancias tóxicas en lodos y calcular las estimaciones de inventarios nacionales de productos químicos en el lodo residual y luego ser liberados al medio ambiente durante la eliminación o disposición del lodo residual en la tierra; son esfuerzos documentales que permiten tomar decisiones valiosas (Venkatesan, Done, & Halden, 2015).

Se han realizado Investigaciones específicas sobre revisión de la literatura para evaluar el número y cantidad de sustancias químicas en los lodos residuales en todo el mundo, y a) establecer técnicas de extracción, b) procesos analíticos en general utilizados para aislar e identificar estos compuestos, y c) evaluar el destino y transporte en el medio ambiente de los contaminantes como resultado de la eliminación y reutilización de lodos residual (Rolsky, Kelkar, Driver, & Halden, 2020).

En el mismo contexto, La National Sewage Sludge Repository (NSSR) elaboró un repositorio que puede servir para identificar y priorizar los contaminantes emergentes, proporcionar tendencias espaciales y temporales de los contaminantes, informar y evaluar la efectividad de la formulación de políticas y regulaciones ambientales, además encontrar exposiciones y cargas corporales aproximadas y continuas de sustancias químicas producidas que impacta a la sociedad humana (Venkatesan et al., 2015). Li and Zhao (2015) utilizaron un análisis bibliométrico para estudiar la literatura en términos de tendencias de crecimiento, categorías temáticas y revistas, colaboración internacional, distribución geográfica de publicaciones y temas de investigación científica. El estudio revela los resultados científicos, colaboraciones académicas y sirve como una forma alternativa e innovadora de revelar las tendencias de investigación globales en la investigación de evaluaciones ambientales. Estos son un claro ejemplo de la directriz que toma la investigación hacia el futuro, propósito de esta investigación.

El análisis de tendencias temporales de los contaminantes presentes en el lodo se puede utilizar para evaluar la efectividad de acciones implementadas y proporcionar datos de análisis de tendencias en el tiempo sobre metales, contaminantes orgánicos persistentes, productos farmacéuticos, productos para el cuidado personal y otros compuestos orgánicos presentes en los lodos residuales (Olofsson, Bignert, & Haglund, 2012). En la revisión del estado del arte de la literatura disponible sobre lodos residuales de las PTARs y cenizas de PTARs, también se encuentra la existencia de una creciente preocupación en todo el mundo por las materias primas que se utilizan en diferentes procesos, ya que la mayoría de ellos son limitados y agotables (Kumar, Shreelaxmi, & Kamath, 2021).

Otras investigaciones revisan los avances más recientes como es la categoría de pirolisis de lodos residuales y su cinética obtenida mediante técnicas termogravimétricas y otros modelos cinéticos diferentes asociados y documentados en la literatura. Se destacan las perspectivas de vanguardia y los desafíos asociados con la implementación a gran escala para los biocombustibles y la

recuperación de recursos de los lodos residuales (Naqvi et al., 2021). Liu et al. (2021), revisan y comparan métodos para todos los pasos en el proceso de producción de biodiesel a partir de lodos de aguas residuales municipales, incluido el pretratamiento de lodos y los métodos de extracción de lípidos, la selección de catalizadores y la generación de subproductos, y su análisis económico. Hay limitaciones en la métrica de impacto pues en la investigación existen documentos, que utilizan estas métricas para identificar a los investigadores líderes en la señal de investigación temática, así como a las revistas líderes en el área de impacto científico (Newell et al. 2022). También se articula la calidad de la investigación y el impacto de la investigación. Abdul Syahid, (2021), hace referencia a la captura de 426 documentos de 824 autores con 144 organizaciones a través de dos herramientas bibliométricas gratuitas, es decir, llamado Harzing, Publish or Perish v. 8.1 y VOS viewer, en este trabajo retrata la revisión de 2011 a 2020 a través de la lente de Microsoft Academic, uno de los motores de búsqueda académicos y bases de datos bibliográficas más grandes y gratuitos. El retrato muestra la productividad y la calidad científicas de la revista, incluidos los autores más prolíficos y sus afiliaciones.

Mediante el uso de indicadores bibliométricos estándar se informa de los tipos de documentos, fuentes, años de publicación, idioma de las publicaciones, área temática, título de la fuente más activa, palabras clave, distribución de publicaciones por países, autoría, análisis de textos, instituciones más activas y análisis de citas. Por lo tanto, se analiza la literatura científica y reportan varios tipos de documentos publicados relacionados con el Dropbox en base a los datos obtenidos de la base de datos Scopus mediante el uso del software llamado Harzing, Publish or Perish v. 8.1 para combinar los datos obtenidos, VOS Viewer Software para visualizarlos y Microsoft Excel para analizar los datos obtenidos (Azmi & Hussain, 2021).

Al adoptar un análisis bibliométrico basado en los datos obtenidos de la base de datos en línea de Scopus se parte de los resultados de la búsqueda de "palabras clave", el reporte es de documentos válidos para un análisis más detallado, luego, se puede emplear el visor VOS para fines de visualización de datos.

Utilizando un análisis bibliométrico Li and Zhao (2015), realizó un trabajo sobre la directriz futura de la evaluación ambiental (EA) y obtuvo con base en 113.468 publicaciones sobre (EA) de los últimos 20 años, utilizando un análisis bibliométrico para estudiar la literatura en términos de tendencias de crecimiento, categorías temáticas y revistas, colaboración internacional, distribución geográfica de publicaciones y estudios científicos.

En este contexto, el desarrollo, estado actual y tendencias futuras de la gestión de lodos en China fue evaluada por (Wei et al., 2020), los autores se basan en datos exploratorios y un análisis de emisiones equivalentes de CO₂. Este estudio reportó estadísticamente el estado actual que guarda el tratamiento y disposición de lodos en China a partir de los aspectos de las fuentes analizadas, las rutas técnicas, la distribución geográfica y el desarrollo utilizando datos de observación.

Capítulo 1. Marco teórico

Importancia del análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico como una de las principales herramientas de investigación científica nace de la necesidad de evaluar el impacto de la actividad científica por medio del surgimiento de actividades derivadas del conocimiento, los científicos con la ayuda de colegas especialistas en el tema enriquecen la información que se publicará, por medio de métodos estadísticos se muestran estos impactos y se ejemplifican para lograr la matematización de los mismos expresado mediante resultados.

1.1.1 Concepto de bibliometría

“La bibliometría es el estudio de aspectos cuantitativos de producción y diseminación y uso de información registrada, a cuyo efecto desarrolla modelos y medidas matemáticas, que sirven para hacer pronósticos y tomar decisiones en torno a tales procesos “(Tague–Sutcliffe, 1994).

El éxito de los estudios realizados se mide mediante una serie de indicadores como el índice H y a su vez la investigación y resultados finales brindan la información necesaria que se debe conocer para determinar si es una publicación de alto impacto, la evolución, tipo de investigación, resultados concretos y escritura son algunos de ellos.

1.1.2 Revisión bibliométrica

Como primer punto se tiene que especificar un tema de interés del cuál se va a realizar el análisis bibliométrico, siempre se debe especificar la fecha de búsqueda o el intervalo de tiempo que se va analizar, se realiza una búsqueda profunda de los artículos científicos que se desean estudiar y se reconocen los datos de mayor

relevancia como autor, tema, lugar de publicación, colaboradores y publicaciones anteriores.

1.1.3 Productividad científica de artículos publicados

Los análisis en escritura y literatura de impacto científico han mostrado un incremento significativo desde décadas pasadas, tal parece que organizar de manera sistemática estas publicaciones ayuda a incrementar la producción científica y tener un mayor acceso a ellas por medio de líneas de investigación derivadas de un tema de interés.

1.1.4 Indicadores bibliométricos

Su objetivo principal es brindar la fuente de información cuantitativa que se logra obtener de las investigaciones, miden por lo general el impacto de las publicaciones mediante el número de citas recibidas, es decir la cantidad de citas que tiene el autor de ese artículo.

1.1.5 Factor de impacto

El factor de impacto (FI) de una revista es un indicador de su visibilidad o difusión y representa la relación entre las citas recibidas en un año, por los trabajos publicados en la revista en los dos años anteriores, y el total de documentos publicados en ella en esos dos años. Su validez como índice de visibilidad de los trabajos está ampliamente aceptada, al considerar que todos los documentos tienen el mismo factor de impacto que el de la revista en la que están publicados, hecho que no es cierto. (DE FILIPPO. 2015)

Se puede calcular con la siguiente fórmula:

Factor de impacto de la revista X en un año=

Número de citas recibidas por la revista X en un año, de artículos publicados en dos años anteriores / Número de artículos publicados en la revista X en dos años anteriores

1.1.6 Nivel de Investigación

Este índice refleja el carácter Básico o Aplicado de una investigación basándose en una clasificación elaborada por Computer Horizont Inc en 1986 y actualizada en 1994. La clasificación agrupa las revistas en 4 niveles de acuerdo al tipo de investigación que en ella se publica. El Nivel 1 corresponde a revistas de observación clínica biomédica o tecnología aplicada, el Nivel 2 incluye el grupo clínico mixto o ciencia/ tecnología/ ingeniería, el Nivel 3 corresponde a la investigación clínica o aplica y el Nivel 4 abarca casi únicamente revistas de investigación básica (DE FILIPPO. 2015).

1.1.7 Índice de inmediatez

Mide la rapidez en la que se citan los artículos científicos, permitiendo reconocer cuales son aquellas de mayor importancia científica, es muy útil para poder identificar las revistas que publican artículos actualizados y de temas de interés.

Se calcula de la siguiente manera:

Índice de inmediatez=

Número de citas a artículos publicados en un año / Número de artículos publicados en dicho año

1.1.8 Índice H

El índice H, es un indicador por medio del cual se puede identificar la producción científica, es importante para reconocer a los investigadores más destacados, basándose en el número de artículos más citados y el número de citas de cada uno de ellos. Su cálculo es tan simple y se basa en ordenar descendientemente partiendo del mayor número de citas que tiene un artículo y reconociendo el punto en el que coinciden el número de orden con el número de citas.

Procesos de tratamiento de aguas residuales

1.1.9 Impacto ambiental generado por las aguas residuales de origen municipal

La mayoría de los residuos de uso y consumo humano se desechan en los ríos, mares o fuentes acuíferas, esto puede ocasionar daños en la salud ya que por lo general las personas que suelen tener sus hogares cerca de las aguas contaminadas pueden ser propensas a enfermedades o problemas en la piel y esto puede afectar gravemente, el alterar el equilibrio ecológico también repercute en los problemas de escasez de agua que se están viviendo actualmente, la importancia de las plantas de tratamiento de aguas residuales es que ayudan a combatir uno de los problemas que más aquejan en la sociedad, son diseñadas para convertir el agua residual en agua de uso agrícola, para que no genere daños al medio ambiente y a las personas.

1.1.10 Características de las aguas residuales

El líquido cuando se mezcla con los desechos cloacales pueden contener materia orgánica, minerales o sustancias químicas, todos estos materiales hacen más complicada la tarea dentro de las plantas de tratamiento, ya que requieren de mayor esfuerzo para eliminar sus impurezas.

1.1.11 Finalidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales

La finalidad del tratamiento de aguas residuales es reducir la materia orgánica, o de cualquier tipo que se encuentre presente en el agua, ya que se pueden encontrar objetos sólidos de gran tamaño, materiales, sustancias y más, En este proceso se obtiene un subproducto que es el lodo residual que puede ser usado para nuestro beneficio, por ejemplo, se puede utilizar para la producción de gas.

1.1.12 Patentes para tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a las investigaciones realizadas en tecnologías emergentes para la investigación de aguas residuales, China constituye abrumadoramente el país más productor y de mayor registro de las patentes (1593 para 56 % del total), seguido de Japón (463 y 16 %), Corea del Sur (338 y 12 %) y Alemania (106 y 3.75%), (González C , Ruiz P, Claro P, Pérez P, Pérez G , Collazo A 2014).

Las alternativas utilizadas convencionalmente pueden resolver un problema pero ser la fuente de uno aún mayor, en el proceso de tratamiento de aguas residuales uno de los métodos más utilizados es la utilización de cloro para eliminar contaminantes presentes en el agua, sin embargo esto propicia la formación de nuevos compuestos organoclorados que son cancerígenos, una nueva alternativa emergente es el uso de ozono por ser oxidante y eliminar la mayoría de bacterias y demás contaminantes orgánicos, otro nuevo descubrimiento innovador es el uso fotocatalítico UVA/VIS utilizando cámaras solares que son altamente efectivas para la degradación de contaminantes presentes en el agua, en nuestro país una patente sobre la ósmosis inversa permitió abrir paso a las nuevas investigaciones sobre procesos de desalinización para disminuir costos de producción y encontrar nuevas alternativas ecológicas.

1.1.13 Tipos de tratamiento de aguas residuales



Figura 1. Diagrama del proceso de tratamiento de aguas residuales (Elaboración propia).

Las aguas residuales de diferentes orígenes pasan por varias etapas en el proceso de tratamiento, durante el tratamiento de aguas residuales, se genera un subproducto denominado lodo residual o biosólido, el cual, es sometido a un tren de tratamiento de lodos a través de procesos mecánicos, químicos y biológicos. Esto implica estabilización, deshidratación y disposición final del lodo residual (Metcalf & Eddy 2003; Singh et al. 2020; Colín-Cruz, 2021). Entonces, el lodo residual se produce durante el tratamiento de aguas residuales como un residuo que contiene la mayoría de los contaminantes solubles e insolubles adicionados al usar el agua por actividades antropogénicas municipal, industrial, agropecuaria) y natural (Cieślik, Namieśnik, & Konieczka, 2015).

El proceso de tratamiento de aguas residuales sigue el orden siguiente que se analiza en la Figura 1;

Tratamiento preliminar

Es la primera fase, en ella se eliminan los sólidos de mayor tamaño como lo pueden ser botellas de plástico, desechos de comida, madera, arena, entre otros.

Tratamiento primario

En la segunda fase del proceso se deben separar los agentes que se encuentran en suspensión, generalmente se usa un tanque de sedimentación, se extrae el agua de la parte superior y se desecha lo que queda en el fondo del tanque.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario permite realizar un proceso biológico para eliminar la mayor cantidad de bacterias, microorganismos que se encuentran en el agua

Tratamiento terciario

En esta etapa se añade cloro, se aplica luz ultravioleta o algún otro método que para eliminar el fósforo o nitrógeno presentes en el agua.

Capítulo 2. Metodología

La metodología propuesta en esta investigación para establecer la “directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal” se muestra en la Figura 2.

2.1.1 Parámetros estadístico de las publicaciones

Para analizar los parámetros estadísticos sobre los artículos publicados en el tema de lodos residuales de ámbito municipal, se optó por un enfoque cuantitativo y un diseño del tipo estadístico-descriptivo que permitió encontrar la mejor ruta metodológica para obtener los resultados esperados, clasificando la información obtenida por medio de tablas de resultados.

El enfoque cuantitativo puede entenderse como un tipo de estudio que se enfoca en afirmar o descartar ideas, establecer patrones o tendencias poblacionales mediante una medición de forma precisa de las variables correctas, es decir, recolección de datos para finalmente ser analizados con el uso de la lógica teoría y matemática (Bunge 2004; Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio 2014; de la Lama García, Daturi, and de la Lama Zubirán 2015; Sánchez 2020) .

2.1.2 Diseño estadístico

Se utilizó un diseño estadístico y descriptivo porque son los que mejor se adaptan a los propósitos del estudio debido a que se trata de un diseño que mediante el uso de herramientas estadísticas aplicadas a una población o muestra explican o abordan un problema para obtener una interpretación de resultados (Naghi Namakforoosh 2005; Wongo Gungula, Dieguez Batista, and Pérez Ugartemendía 2015). Los parámetros que permiten evaluar los resultados obtenidos gráficamente de los datos muestrales de la base de datos principal utilizados son las medidas de

tendencia central como la media para representar el conjunto de datos con un número y las medidas de dispersión como la desviación estándar, al igual se analizan los valores mínimo y máximo haciendo una tabla de comparación de datos de cada año para identificar el impacto de las publicaciones de los artículos.

2.1.3 Fases de la metodología

Estas fases de la metodología consisten en trazar la ruta que seguirán los investigadores para llegar a los resultados esperados, por medio de sencillos puntos para que sea viable su aplicación y se utilice como herramienta de aplicación científica.

Para facilitar el método se dividió el mismo en cuatro fases las cuales son y están representadas en la Figura 2.

- Fase 1: Instalación
- Fase 2: Recolección
- Fase 3: Refinación
- Fase 4: Análisis

- Fase 1: Instalación

Durante la primera fase es una etapa de preparación en que se descarga e instala el programa Harzing's Publish or Perish v. 8.1 desde su página oficial (Harzing, 2007). Teniendo el programa instalado no se puede acceder directamente a la base de datos Scopus por lo que se debe crear una cuenta en Elsevier y con la cuenta creada solicitar la API key.

Para usar la API key en el programa Harzing's Publish or Perish v. 8.1 se inicia una nueva búsqueda en Scopus, automáticamente se abrirá una ventana solicitando la API key, se escribe en la casilla correspondiente y se aceptan los permisos.

Para finalizar esta fase se realizan pruebas con el programa realizando búsquedas con ambas bases de datos (Scopus y Google Scholar) de prueba para confirmar el correcto funcionamiento y determinar que no hay nuevas actualizaciones disponibles. Cabe hacer mención que el máximo número de documentos que puede obtenerse de las bases de datos es de 200 para Scopus y 1000 para Google Scholar.

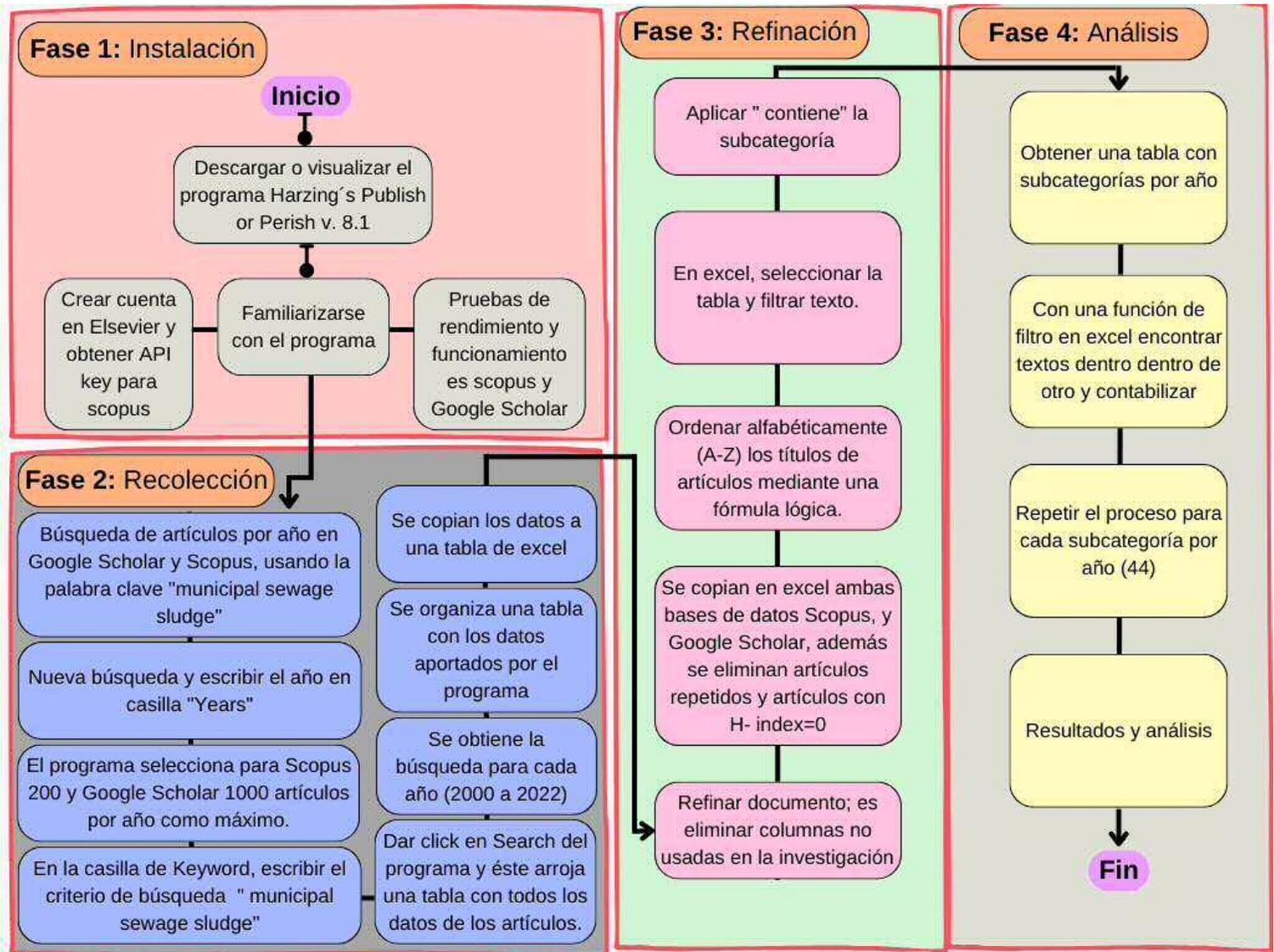


Figura 2. Diagrama con fases de la metodología propuesta para el estudio bibliométrico sobre lodos residuales (Elaboración propia).

- Fase 2: Recolección

En la fase 2 de recolección de datos, se delimitó la población a solo el idioma inglés entre los años 2000 al 2020 excluyendo aquellos artículos que tuvieran un factor índice $H = 0$ (peso que un autor tiene en una comunidad científica), ya que se consideran irrelevantes para la clasificación que se está realizando.

Para realizar las búsquedas; lo primero es abrir una nueva ventana y seleccionar la base de datos con la que se trabajaría (solo es posible hacer la búsqueda en una base de datos a la vez), se llenan las casillas con el año o años que se va a investigar, para obtener únicamente resultados de ese periodo de tiempo (para nuestro caso fue anual). La base de datos de Google Scholar acepta como máximo de resultados posibles a 1000 artículos y para Scopus 200 artículos con los cuales son suficientes para llevar a cabo la investigación. El criterio de búsqueda es “**Municipal sewage sludge**” y se escribió en la casilla de palabras clave, las demás casillas de Título, Publisher y Autor se dejan en blanco de modo que se incluyan todos los posibles autores y publicaciones. Finalmente se hace la búsqueda dando click en Search.

El programa Harzing’s Publish or Perish v. 8.1 automáticamente comienza la búsqueda y se muestra una ventana con el progreso de la misma con una barra verde, cuando termina en la parte inferior se muestra una tabla con encabezado de estadístico H-index, total de citas, citas por año, autor, título, año, publicación, básicamente, en este apartado también se puede ingresar a ver los artículos seleccionando la opción “open article in browser” que se puede ver en la barra de opciones que aparece al dar click derecho en los artículos.

Sin embargo, exclusivamente se tiene la tabla de un solo año y de una sola base de datos por lo que se repitió el proceso de búsqueda anterior para cada año y con cada base de datos (Scopus y Google Scholar). Con lo que al finalizar las búsquedas (en total 42) estas tablas se copian a un archivo de Excel con la opción

del programa Results for Excel with Header (copiar resultados para Excel con encabezado).

- Fase 3: Refinación

Con los 42 documentos de Excel se inicia la fase 3 de refinación de los archivos, para ello, dentro de los mismos archivos se abren otras hojas para que; en la segunda hoja se copia la tabla de resultados tanto de la base de datos de Scopus como la base de datos de Google Scholar iniciales ,eliminando aquellos que no tenían ninguna cita (HIndex = 0) y eliminando columnas dejando únicamente citas con HIndex > 0, autor, título y revista. Posterior a ello, se emparejan ambas bases de datos con el año correspondiente dejando en total 21 documentos con ambas bases de datos; en estos documentos se eliminan las columnas de citas, autor y revista por lo que únicamente quedan los títulos, los cuales, se ordenan alfabéticamente de A a la Z.

A partir de la lista de títulos ordenada alfabéticamente y haciendo uso de la fórmula **lógica =SI(Ax=Ax,"REPETIDO")** en el programa Excel, se obtuvieron los artículos que se repetían en las bases de datos y se eliminaron básicamente de la base de datos de Google Scholar, por considerar a la base de datos de Scopus con mayor rigidez en su evaluación, es decir, en otra hoja de Excel del mismo archivo se llevó a cabo dicha eliminación de artículos que se encontraban repetidos en las dos bases de datos con lo que al final se tienen los títulos de artículos relevantes que no se repiten en las bases de datos. Para concluir la refinación, se repite este mismo proceso para cada año. A partir de los títulos y los resúmenes de artículos se determinaron las categorías y subcategorías propuestas.

- Fase 4: Análisis

En esta última etapa se llevó a cabo el proceso de categorización y subcategorización como se muestra en la Tabla 1. El primer paso que ayudó a definir las categorías fueron los conceptos clave considerados como efectos adversos señalados en la literatura y que involucran problemas comunes en la industria del agua (Lodos Residuales) a nivel municipal, además de que actualmente hay una atención en la literatura científica, sobre una tendencia en el desarrollo de estándares, de lo que resultó en 13 categorías y 44 subcategorías. Siguiendo a Hansen et al., (2015); Schouten and Bitzer (2015), las subcategorías se definieron por tema relevante a través de cuatro criterios: título, palabras clave, resumen y contenido.

Como primer paso, se examinaron los títulos de los artículos; si el título era lo suficientemente claro para ser clasificado en una subcategoría, entonces se clasificó de acuerdo a su enfoque y relevancia del tema de estudio; en caso contrario, se pasaba a la siguiente fase hasta encontrar la categoría particular, o ser excluidos del estudio.

Para este proceso se realizó una revisión minuciosa en cada una de las secciones que estructuran un artículo: título, palabras clave, resumen y contenido. Los elementos resultantes mostraron una larga lista; sin embargo, se consideró como objetivo de la investigación unificar criterios y encuadrar en una subcategoría relevante, de lo contrario, crear una nueva. Cuando las subcategorías incluían **menos de tres artículos, se añadían a la clasificación “otros”, generalizando el aporte** como conocimiento diversificado; así, se definieron 44 subcategorías.

Finalmente, siguiendo a Corrales-Reyes, et al., (2017), el tratamiento y análisis temático para determinar los hallazgos de los 18,083 artículos seleccionados (2000 al 2020) con un promedio anual de 861.1 artículos se manejó en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft).

Tabla 1. Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 al 2020, se presentan en inglés por realizar la búsqueda en este idioma (pirbi), (Elaboración propia).

No.	Categoría	Subcategoría	No.	Categoría	Subcategoría
1	Degradation	1. Activation 2. Biodegradation 3. Aerobic 4. Anaerobic	7	Regulation	18. Legislation 19. Management
2	Organic material	5. Biomass 6. Bioreactor	8	Entity	20. Municipal 21. Production 22. Sustainability 23. Performance 24. Removal
3	Chemocoenzymatic process	7. Digestion 8. Digester 9. Stabilization	9	Land	25. Soil 26. Fertilizer 27. Agricultural (Land-Farming) 28. Landfiel
4	Distribution	10. Distribution-Provision 11. Characterization	10	Risk	29. Toxicity 30. Emerging pollutants 31. Heavy metals 32. Effects
5	Generation	12. Energy 13. Fuels 14. Combustion	11	Treatment	33. Process 34. Incineration 35. Ash

					36. Drying 37. Thermal 38. Sorption 39. Pyrolysis
6	Perspective	15. Future 16. State of art 17. Percolation	12	Waste	40. Using 41. Utilization 42. Compost 43. Application 44. Recovery

Resultados y Discusión

Con la metodología diseñada Figura 2 se obtuvieron los siguientes resultados para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTAR's de ámbito municipal. Para iniciar se establecieron las categorías con los siguientes criterios como se describen en la Tabla 2.

Se muestran las categorías y subcategorías sobre Lodos Residuales de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 en la Tabla 3.

En la Tabla 3, se muestra el número de artículos encontrados en la base de datos de Scopus y Google Scholar en el periodo de 2000 a 2020, dichos artículos están en base a las 12 categorías propuestas, las cuales se definen en la Tabla 2 y con sus respectivas subcategorías (44).

Se obtuvieron 18,083 títulos con un promedio de publicaciones de 861 por año, de los cuales 2,275 no fueron clasificados como subcategorías y de ellos 1,975 no se categorizaron por no incluirse en los documentos definidos en las categorías o subcategorías y 300 por estar en otro idioma como japonés, chino u otro.

Tabla 2. Definición de categorías sobre Lodos Residuales de artículos publicados en 2000 a 2020 (pirbi), (Elaboración propia).

No.	Categoría	Descripción	Referencia.
1	Degradation	Es una descomposición orgánica, en la que los materiales se transforman en sustancias más simples.	(Leung et al., 2000) (Torres, 2003) (P. Alvarenga et al., 2007) (Alvarez, Lopez, Amutio, Bilbao, & Olazar, 2016) (Qin, Huang, Xue, Liu, & Wan, 2020) (Tong, Liu, Dong, Ma, & Liu, 2020)
2	Organic material	Es uno de los componentes fundamentales de la naturaleza, considerada como una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, desempeña un importante papel en los suelos agrícolas.	(Simonich, Begley, Debaere, & Eckhoff, 2000) (Thornton, Bock, Behel, Houston, & Tyler, 2000) (Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano, & Bello-Amez, 2006) (Hemmat, Aghilinategh,

			Rezaeinejad, & Sadeghi, 2010) (Rezaee, Danesh, Tavakkolizadeh, & Mohammadi-Khatami, 2019) (Ding et al., 2019)
3	Chemocoenzymatic process	Son reacciones de oxidación en la que interviene como substrato el oxígeno molecular, catalizada por un tipo de enzimas que se puede encontrar en prácticamente todos los seres vivos, desde las bacterias al hombre.	(Lendormi, Prevot, Doppenbe, Foussard, & Debellefontaine, 2001) (Alvarez Garcia, 2009) (Marques et al., 2011) (Huang, Huang, Chiueh, & Lo, 2020)
4	Distribution	La relación que existe entre la producción y el destino, es decir, seguir una ruta.	(Öberg, Warman, & Öberg, 2002) (Tandukar, Uemura, Machdar, Ohashi, & Harada, 2005) (Zeng et al., 2010) (Xie et al., 2011) (Carbonell, Imperial, Torrijos, Delgado, & Rodriguez, 2011)
5	Generation	Producción o consecuencia, tal como; generación de	(Tandukar et al., 2005)

		reactores de esponja colgantes de flujo descendente de "cuarta generación", producción de biomasa innovador (Biobob®) para el tratamiento de aguas residuales municipales, análisis del flujo y balance de masas, entre otra forma de generación de lodos.	(Araujo Junior, Lermontov, Araujo, & Zaiat, 2013) (K. Liang & Liu, 2016) (Rodríguez-Sánchez et al., 2016) (G. Wang, Tang, Jiang, Andersen, & Zhang, 2020) (Sedighi, Karrabi, Shahnava, & Mostafavinezhad, 2022) (Barrón Hernández et al., 2022)
6	Perspective	Consiste en representar a expectativas de un estudio, es abordar tendencias y proyecciones futuras. Analiza los casos pasados y actuales para elaborar proyecciones dentro y fuera del sector para describir un futuro posible. Pretende dar un cuadro coherente de cómo podría visualizarse la situación en el futuro en función a las decisiones que se tomen hoy.	(De Bere, 2000) (Loayssa Lara, Ruiz Moral, & García Campayo, 2011) (Oberberger, 1998) (Molino, Chianese, & Musmarra, 2016) (Zheng et al., 2018) (Yan, Afxentiou, & Fokaidis, 2021) (Ghorbani & Sabour, 2021)
7	Regulation	Parte legal que atiende la síntesis de normativa y deja	(Körner et al., 2000)

		precisamente en las normas técnicas y otras la aclaración de los procesos, datos y fórmulas que complementan la seguridad y operación.	(Cenni, Janisch, Spliethoff, & Hein, 2001) (Vidrine, 2008) (Kelessidis & Stasinakis, 2012) (Cimochowicz-Rybicka, 2013) (Christodoulou & Stamatelatou, 2016) (Turek, Kilkovský, Jegla, & Stehlík, 2018)
8	Entity	Se refiere a la entidad territorial como regiones, provincias y que produce, trata y/o remueve contaminantes de los lodos residuales en dichos lugares.	(Arthurson, 2008) (SMITH, 2009) (Zorita, Mårtensson, & Mathiasson, 2009) (Choi, Song, Cha, & Lee, 2014) (Peng et al., 2016) (Y. Li et al., 2020) (Z. Zhang & Chen, 2020) (Xia, Tang, Shih, & Li, 2020) (Regitano et al., 2022)
9	Land	Se refiere a la superficie de la corteza terrestre, compuesta de materia mineral y orgánica	(Theodoratos, Moirou, Xenidis, & Paspaliaris, 2000)

		sobre la cual crecen las plantas o está destinada al cultivo, el cual utiliza fertilizantes y puede contaminarse por actividad antropogénica y natural.	(Rahube et al., 2014) (Lamastra, Suciú, & Trevisan, 2018) (Xiong et al., 2018) (Lamastra et al., 2018) (J. Yang et al., 2021)
10	Risk	Se considera una combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, es decir exista toxicidad, presencia de contaminantes como metales pesados y produzcan un efecto a la salud del hombre y al ecosistema.	(J. Wang & Wang, 2007) (Hale & La Guardia, 2003) (B. Zhao et al., 2017) (Nazari et al., 2017) (W. Yang, Cai, & Dai, 2020) (Giannakis, Emmanouil, Mitrakas, Manakou, & Kungolos, 2021) (Dereli, Clifford, & Casey, 2021)
11	Treatment	Procesos mecánicos, biológicos y químicos de tratamiento que contienen gran cantidad de materia orgánica, inorgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua.	(C. Wang et al., 2003) (Ferge, Maguhn, Felber, & Zimmermann, 2004) (QIAN, CAO, CHUI, & TAY, 2006) (Cofie et al., 2006)

			<p>(Ramírez, Domene, Ortiz, & Alcañiz, 2008)</p> <p>(Crane et al., 2010)</p> <p>(T. Chen et al., 2014)</p> <p>(Kwon et al., 2018)</p> <p>(Ma et al., 2021)</p>
12	Waste	<p>Consiste en materia obtenida en los sistemas de tratamiento de aguas residuales conocida como lodos residuales o biosólidos.</p>	<p>(Q. Yang et al., 2007)</p> <p>(Hemmat et al., 2010)</p> <p>(Rashed, Akunna, El-Halwany, & Atiaa, 2010)</p> <p>(Rashed et al., 2010)</p> <p>(J. Wang & Wang, 2019)</p> <p>(G. Chen et al., 2021)</p>

En la Tabla 3, se observa que los años de menor producción en relación a la media anual en el periodo de estudio fueron 2001, 2002, 2003, 2004, 2010, 2011, 2012, 2014 y 2015 (9 años). Y en relación a la mayor producción fueron 2000, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 (12 años).

En este periodo resaltan las subcategorías por arriba de un promedio anual de título publicado correspondiendo a 393 títulos por categoría/año, como se muestra en la Tabla 4. Cabe destacar que; de los 18,083 títulos estudiados 15,808 (87.4 %) fueron categorizado, 1,975 (10.9 %) no categorizados y 300 (1.7 %) se excluyeron por corresponder a otro idioma. También se observa y cabe destacar que ocho categorías de las 12 en estudio son 1) Degradation, 2) Distribution, 3) Entity, 4) Land, 5) Risk, 6) Treatment, 7) Waste y 8) Not Categorized y que representan 12,582 (69.6 %) de artículos revisados.

En la Tabla 5 y Figura 3, se muestra el H-index, es decir, el peso que un autor tiene en una comunidad científica, éste índice H, indica el número de artículos con número de citación mayor o igual a H, es como un índice útil para caracterizar la producción científica de un investigador (Hirsch, 2005). Para lo cual se establecen un mínimo y un máximo por año. En la Figura 3, se muestra el año con menor y mayor H-index en la base de datos de Scopus y Google Scholar; para Scopus el rango mínimo de H-index es 2015 con H-index = 60 y 2020 el H-index = 29 y para el caso del máximo rango H-index = 2053 y para 2000 con un H-index = 188, para Google Scholar el rango mínimo de H-index es 2020 con H-index = 38 y 2003 el H-index = 133 y para el caso del máximo rango en 2000 el H-index = 19,824 y para 2020 con un H-index = 168. Dado que el H-index es un referéndum del número de artículos con el número de citaciones y que esto puede reflejar una tendencia en el interés de los investigadores para abordar temáticas que promuevan el interés por dar soluciones a problemas inherentes a los lodos residuales provenientes de PTAR's de origen municipal, por ello, se tomó el H-index para obtener los artículos que darán la tendencia en la presente investigación.

Tabla 3. Categorías y subcategorías sobre Lodos Residuales de artículos publicados en 2000 a 2020 (pirbi), (Elaboración propia).

Category/year	Subcategory/year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Σ
Degradation	Activation	46	41	44	52	37	65	57	62	46	58	54	8	44	49	56	52	52	49	31	37	50	990
	Biodegradation	13	9	10	11	4	4	8	6	5	11	5	5	8	14	13	11	13	17	14	20	12	213
	Aerobic	11	8	9	10	7	13	19	17	16	13	18	30	68	57	77	82	83	76	82	79	92	867
	Anaerobic	60	44	63	48	52	59	66	60	67	67	59	44	1	25	37	21	29	6	11	14	16	849
Organic material	Biomass	6	7	6	12	9	13	11	13	13	11	9	15	20	17	8	15	21	21	24	16	27	294
	Bioreactor	5	8	4	8	14	22	28	20	18	18	13	1	4	3	10	3	9	8	9	5	1	211
Quimiocoenzimatic process	Digestion	7	4	3	7	5	3	3	6	6	7	12	11	9	18	17	12	16	19	20	20	15	220
	Digester	4	2	3	4	4	3	4	3	5	9	2	4	1	0	3	5	14	5	6	6	7	94
	Stabilization	3	1	3	3	6	0	4	4	9	2	5	6	10	9	9	6	10	6	8	10	12	126
Distribution	Disposition-Provision	18	15	13	14	11	19	13	19	14	14	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	179
	Characterization	25	20	20	18	27	35	25	25	40	47	42	37	45	58	34	45	46	55	55	55	42	796
Generation	Energy	8	3	5	9	7	11	6	8	15	14	12	14	14	16	16	16	20	15	27	30	18	284
	Fuels	1	6	5	3	6	7	5	4	5	6	7	13	11	20	21	17	23	23	26	22	24	255
	Combustion	10	9	11	12	15	4	12	12	15	13	16	11	8	10	8	12	10	9	23	13	5	238
Perspective	Future	2	4	0	3	2	4	0	2	0	1	0	0	3	2	1	1	1	0	0	2	4	32
	State of the art	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	Percolation	3	3	2	10	4	3	12	7	6	8	1	4	5	7	20	7	7	8	12	4	6	139
Reglamention	Legislation	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	1	2	0	12
	Management	17	11	18	14	16	6	6	14	13	6	6	7	7	8	8	10	9	10	7	15	8	216
Entity	Municipal	56	36	33	36	48	65	58	60	54	64	57	75	69	75	59	68	58	53	52	64	55	1195
	Production	12	2	15	9	15	7	16	19	18	19	23	18	18	14	23	14	14	18	15	30	14	333
	Sustainability	3	2	3	2	2	1	0	2	4	2	1	0	0	0	0	2	2	2	6	1	5	40
	Performance	3	15	4	1	1	2	2	3	3	3	6	8	3	5	4	1	8	3	5	10	3	93
	Removal	11	11	14	9	15	12	11	10	8	8	6	15	12	9	7	8	8	12	0	10	14	210
Land	Soil	35	31	38	37	28	39	33	20	15	17	23	29	14	15	16	14	14	14	21	17	20	490
	Fertilizer	8	11	3	8	10	10	5	8	19	15	5	10	11	10	7	11	12	16	10	10	13	212
	Agricultural (land-farming)	30	23	28	31	25	23	27	24	26	33	25	4	5	4	4	8	3	6	6	5	3	343
	Landfill	12	9	8	7	6	7	6	9	6	5	6	3	1	1	4	3	2	0	0	2	1	98
Risk	Toxicity	7	3	3	4	2	6	2	3	4	5	2	4	3	2	4	4	5	2	3	2	1	71
	Emerging pollutants	10	7	9	7	6	5	2	3	7	9	9	6	5	16	5	12	21	6	6	11	6	168
	Heavy metals	39	48	28	35	29	31	51	35	43	36	29	29	24	29	30	27	23	37	23	25	29	680
	Effects	21	33	43	45	33	38	31	50	56	54	35	28	54	64	46	66	56	63	72	55	58	1001
Treatment	Process	41	44	36	40	52	41	39	45	41	38	51	69	48	45	36	31	29	24	31	29	20	830
	Incineration	20	7	6	11	7	4	7	2	8	5	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
	Ash	17	15	17	25	10	20	22	20	29	38	27	23	23	28	26	37	39	36	49	48	48	597

	Drying	2	4	10	5	10	9	12	13	6	12	11	9	14	15	16	19	20	19	13	16	13	248
	Thermal	11	6	5	10	3	3	2	5	4	4	4	6	10	12	9	10	9	13	11	18	19	174
	Sorption	3	4	3	3	4	2	8	4	3	5	3	15	3	4	6	3	5	4	1	9	1	93
	Pyrolysis	2	4	3	0	1	0	6	1	6	7	6	4	5	6	9	13	10	18	18	10	21	150
Waste	Using	6	3	4	6	8	11	1	8	8	8	4	13	14	12	10	11	12	11	10	12	12	184
	Utilization	7	4	4	1	5	2	4	4	4	2	5	6	4	4	3	3	2	0	0	2	1	67
	Compost	64	75	77	47	75	78	63	76	83	87	74	85	51	49	54	50	67	56	51	46	58	1366
	Application	44	40	36	34	35	39	55	55	65	55	48	24	42	50	51	42	44	58	46	43	40	946
	Recovery	4	4	4	6	4	4	5	6	6	4	3	1	3	4	2	3	5	12	12	7	14	113
Not Categorized	Not Categorized	170	135	142	127	139	119	112	97	81	81	91	127	73	77	59	63	47	60	59	67	49	1975
Different language to english	Different language to english	14	15	24	39	24	13	22	20	21	18	6	21	9	8	16	15	10	3	1	0	1	300
	Total	893	786	821	823	825	862	881	884	921	941	849	844	779	874	844	853	888	873	877	899	866	18083

Tabla 4. Categorías y subcategorías (pirbi) con mayor a 393 artículos publicados por categoría/año en 2000 a 2020 (Elaboración propia).

Categoría	Subcategoría	Artículos en el periodo 2000 a 2020
Degradation	Activation	990
	Aerobic	867
	Anaerobic	849
Distribution	Characterization	796
Entity	Municipal	1195
Land	Soil	490
Risk	Heavy metals	680
	Effects	1001
Treatment	Process	830
	Ash	597
Waste	Compost	1366
	Application	946
Not Categorized	Not Categorized	1975
	Subtotal	12582
	Total	18083

Tabla 5. Base de datos que muestra el H-Index para Scopus y Google Scholar en un mínimo (Min) y un máximo (Max), (Elaboración propia).

Scopus (H-Index)			Google Scholar (H-Index)	
Año	Min	Max	Min	Max
2000	35	419	133	19824
2001	42	419	123	2460
2002	36	358	133	3733
2003	37	473	133	4612
2004	42	1203	121	1834
2005	45	663	131	1937
2006	58	818	119	1155
2007	53	560	114	1622
2008	45	1057	110	3057
2009	52	648	126	1869
2010	52	696	95	1426
2011	55	662	86	2865
2012	55	674	85	967
2013	47	388	92	671
2014	54	2053	81	949
2015	60	392	86	697
2016	55	296	80	600
2017	48	412	70	531
2018	43	573	60	476
2019	43	440	54	522
2020	29	188	38	168

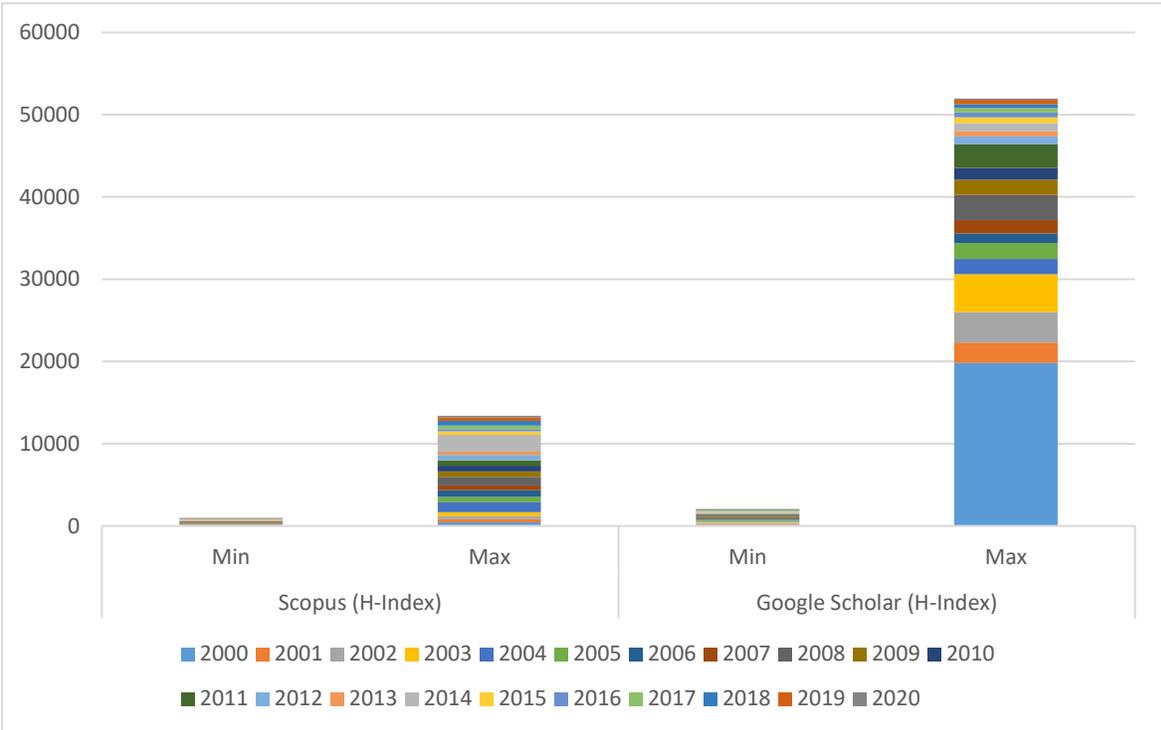


Figura 3. H-index mínimo y máximo para Scopus y Google Scholar en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).

De la Tabla 3 se obtiene la gráfica de la Figura 4, la cual, muestra el comportamiento de las categorías y subcategorías en el periodo de estudio de 2000 a 2020. El promedio encontrado es de 861 publicaciones/año (se muestra la línea que indica el promedio). En la Tabla 6 se muestran las categorías y subcategorías que son igual o rebasan a dicho promedio, cabe resaltar que son cuatro las categorías (Degradation, Entity, Risk y Waste) con seis subcategorías (Activation, Aerobic, Municipal, Effects, Compost y Application) de las 44 en total propiamente sobre lodos residuales y que representan el 35 % del total de artículos publicados en 2000 a 2020 (18,083), y una no categorizada debido a que no presenta relación en el documento con el título, resumen o palabras clave o una identidad en las subcategorías establecidas.

Cabe hacer notar que la gráfica de la Figura 4 presenta sobreposición de texto en el eje de las abscisas, por lo cual se ha separado en las Figuras 4a y 4b para mejor claridad y apreciación, en la Figura 4c se puede observar también el número de artículos no categorizados, los que están en diferente idioma y los que fueron analizados en total. Las categorías principales que presentan mayor citación son 4 y subcategorías son 6. A continuación se describen cada una de estas:

“Degradation” Degradación

En la categoría “Degradation” y Subcategorías “Activation” (990 publicaciones) y “Aerobic” (867 publicaciones) haciendo un total de 1,857 (10.23 %). En esta categoría se determina por descomposición orgánica, en la que los materiales se transforman en sustancias más simples, y algunos de los artículos representativos de la búsqueda en Harzing, Publish or Perish v. 8.1 son (Torres 2003; Alvarenga et al. 2007; (Qin et al. 2020; Tong et al. 2020; Leung et al., 2000; Torres, 2003; Alvarenga et al., 2007; Alvarez, Lopez, Amutio, Bilbao, & Olazar, 2016; Qin, Huang, Xue, Liu, & Wan, 2020; Tong, Liu, Dong, Ma, & Liu, 2020; Leung et al., 2000; Torres, 2003; Alvarenga et al., 2007; Alvarez, Lopez, Amutio, Bilbao, & Olazar, 2016; Qin, Huang, Xue, Liu, & Wan, 2020; Tong, Liu, Dong, Ma, & Liu, 2020).

“Entity” Entidad

En la categoría **“Entity” y Subcategorías “Municipal”** con 1195 publicaciones (6.61 %). La categoría; se refiere a la entidad territorial como regiones, provincias y que produce, trata y/o remueve contaminantes de los lodos residuales en dichos lugares. Son artículos representativos de la búsqueda en Harzing, Publish or Perish v. 8.1. (Pasztor, Thury, & Pulai, 2009; SMITH, 2009; Morgan–Sagastume et al., 2014; Peng et al., 2016; Arthurson, 2008; SMITH, 2009; Zorita, Martensson, & Mathiasson, 2009; Choi, Song, Cha, & Lee, 2014; Peng et al., 2016; Y. Li et al., 2020; Z. Zhang & Chen, 2020; Xia, Tang, Shih, & Li, 2020)

“Risk” Riesgo

En la categoría **“Risk” y Subcategorías “Effects”** con 1001 documentos representa 5.54 % del total de publicaciones revisadas. Esta categoría se considera una combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, es decir exista toxicidad, presencia de contaminantes como metales pesados y produzcan un efecto a la salud del hombre y al ecosistema. Son artículos representativos de la búsqueda en Harzing, Publish or Perish v. 8.1. (Hale & La Guardia, 2003; J. Wang & Wang, 2007; B. Zhao et al., 2017; Nazari et al., 2017; Cucina et al., 2019; W. Yang, Cai, & Dai, 2020; Giannakis, Emmanouil, Mitrakas, Manakou, & Kungolos, 2021; Dereli, Clifford, & Casey, 2021).

“Waste” Residuo

En la categoría **“Waste”** con Subcategorías **“Compost”** 1,366 publicaciones (7.6 %) y **“Application”** con 946 publicaciones (5.2 %) haciendo en esta categoría 2,312 documentos, representando un 12.8 % del total. Esta categoría consiste en materia obtenida en los sistemas de tratamiento de aguas residuales conocida como lodos residuales o biosólidos. Son artículos representativos de la búsqueda en Harzing, Publish or Perish v. 8.1. (Q. Yang et al., 2007; Hemmat et al., 2010; Rashed, Akunna, El-Halwany, & Atiaa, 2010; Rashed et al., 2010; Paula Alvarenga et al., 2015; Mehariya, Patel, Obulisamy, Punniyakotti, & Wong, 2018; Latha, Velraj, Shanmugam, & Sivanesan, 2019; J. Wang & Wang, 2019; G. Chen et al., 2021).

Representando las cuatro categorías analizadas (6,315 publicaciones) con una mayor frecuencia del 34.87% del total de las publicaciones revisadas. Con las categorías se puede establecer que las publicaciones siguen el modelo:

“Waste” 2,312 > “Degradation” 1857 > “Entity” 1195 > “Risk” 1001 Mod. I

Con las subcategorías se puede establecer que las publicaciones siguen el modelo:

“Compost” 1,366 > “Municipal” 1195 > “Effects” 1001 > “Activation” (990) > “Application” 946 > “Aerobic” 867..... Mod. II

Por lo tanto se puede decir; en el periodo que se ha indagado 2000 a 2020 la investigación sobre Lodos Residuales proveniente de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de origen Municipal ha seguido estos modelos y para el futuro la directriz seguirá siendo esta tendencia fundamentalmente, aunque existe una visión

El son para **“Compost”** $\bar{Y} = 65.1$, **“Municipal”** $\bar{Y} = 56.9$, **“Effects”** $\bar{Y} = 47.7$, **“Activation”** $\bar{Y} = 47.1$, **“Application”** $\bar{Y} = 45.1$ y **“Aerobic”** $\bar{Y} = 41.3$, en la tabla 6 se clasificaron las categorías y subcategorías que del año 2000 a 2020 tuvieron un alto grado de artículos publicados mayor al promedio de 861.

En las Figuras 5 Y 6 se realizó un análisis de las categorías y subcategorías separando el periodo total de 20 años en dos partes, la Figura 5 muestra el periodo de 2000 a 2010 y las categorías y subcategorías con mayor número de artículos publicados, la Figura 6 muestra el periodo de 2011 a 2020 y las categorías y subcategorías con mayor impacto en ese periodo de 10 años, cabe mencionar que estas dos figuras contienen solo los artículos de las categorías y subcategorías que mayor impacto han tenido, pues se refinó la información basándose en el promedio de cada una de las subcategorías y los años estudiados, con la finalidad de hacer una comparativa con los resultados generales de los 20 años de estudio.

En la Tabla 7 se observa el número de artículos totales publicados en el periodo de estudio de 20 años, se muestran las categorías y subcategorías con el total de artículos publicados y los que tuvieron mayor impacto en publicaciones. En la Figura 7 se observan las categorías y subcategorías con mayor número de publicaciones realizadas en los 20 años de estudio y sus coeficientes de correlación para observar su comportamiento, se puede identificar una clara tendencia en la categoría **“Degradation”** y subcategoría **“Aerobic”**, pues su coeficiente de correlación es $R^2 = 0.8498$, en la cuál como se puede observar en la Figura 7 muestra un comportamiento lineal creciente, lo que significa que los artículos en esta categoría actualmente son los que más se han analizado y siguen siendo del interés de la comunidad científica, las siguientes categorías se clasifican en orden decreciente,

categoría **“Degradation”** y subcategoría **“Activation”** con un coeficiente de $R^2 = 0.016$, se observan en general las líneas de tendencia y están clasificadas por color según su categoría y subcategorías correspondientes.

Finalmente, en las Figuras 8 ,9,10 y 11 se presentan los artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre las categorías **“Waste”**, **“Degradation”**, **“Entity”**, **“Risk”** que muestran la tendencia temática que se ha abordado, estas categorías de igual manera han tenido el mayor número de artículos publicados en los últimos años que se analizaron y marcan una clara tendencia de investigación que sirve como línea documental para su aplicación en las PTARs. También se observa la tendencia de las subcategorías **“Application”** y **“Compost”**, **“Activation”** y **“Aerobic”**, **“Municipal”**, **“Effects”** respectivamente, tomadas por tener un promedio mayor a 861 artículos publicados, ya que son las que generaron mayor número de publicaciones durante el periodo de tiempo estudiado, se pueden observar las ecuaciones lineales de cada una de las gráficas, las cuáles permiten observar la tendencia e impacto que han tenido estas categorías y sus respectivas subcategorías en orden creciente o decreciente y los coeficientes de correlación.

Autores como **Nsenga Kumwimba, Lotti, Şenel, Li, & Suanon**, (2020); Zheng et al., (2018) que analizan las tendencias, los desarrollos recientes de la investigación, los resultados de los últimos años de investigación sobre temas específicos desde su aplicación a nivel laboratorio hasta aplicaciones a gran escala.

Un ejemplo muy interesante en el marco de los **“Waste”** se refiere a un análisis bibliométrico para buscar las tendencias globales de investigación de lodos granulares desde 1992 hasta 2016 indexadas en el SCI-EXPANDED. Los artículos se publicaron en 276 revistas con 44 categorías temáticas (Zheng et al., 2018).

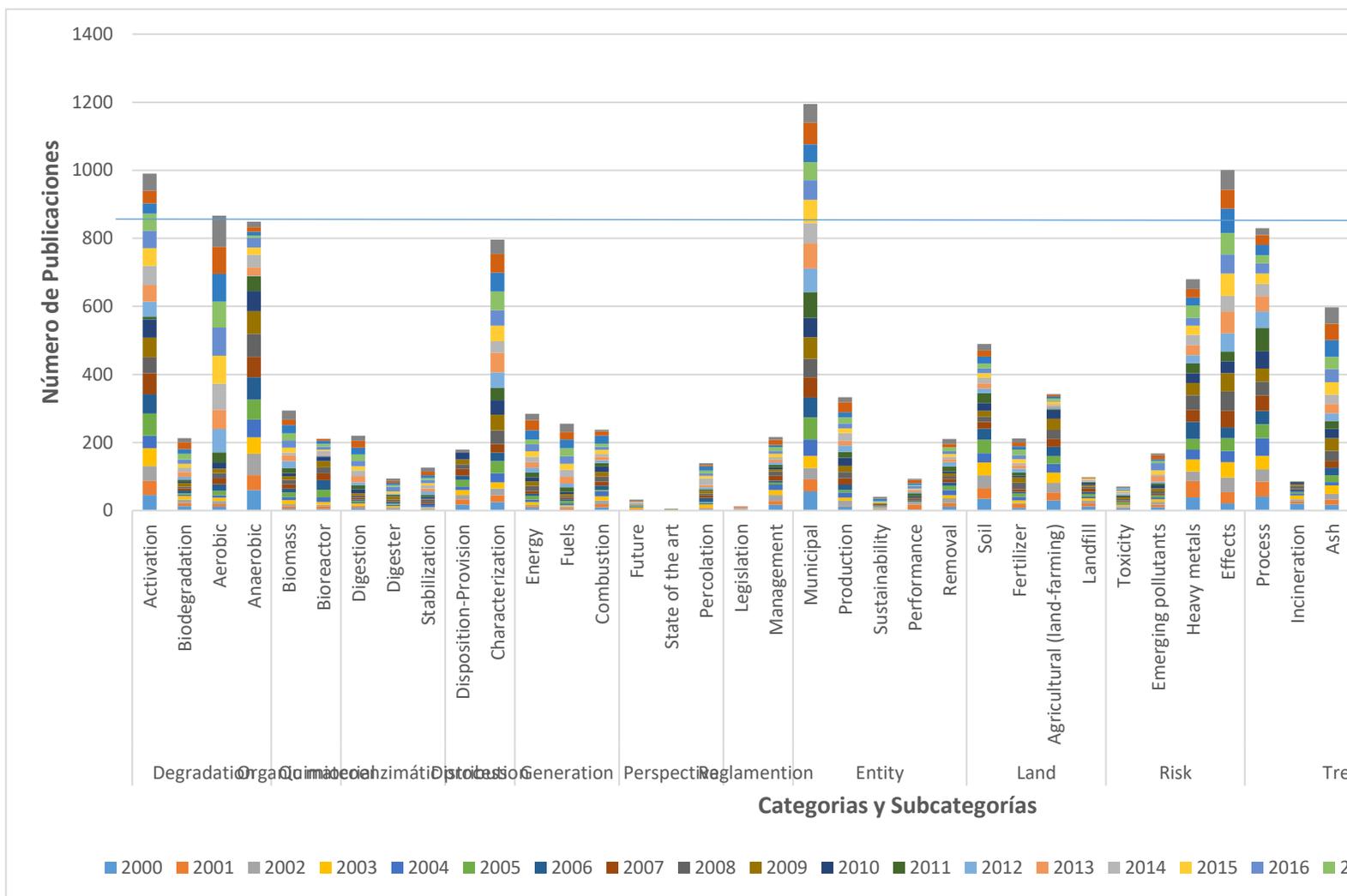


Figura 4. Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre L de origen municipal ■ Promedio 861 (Elaboración propia).

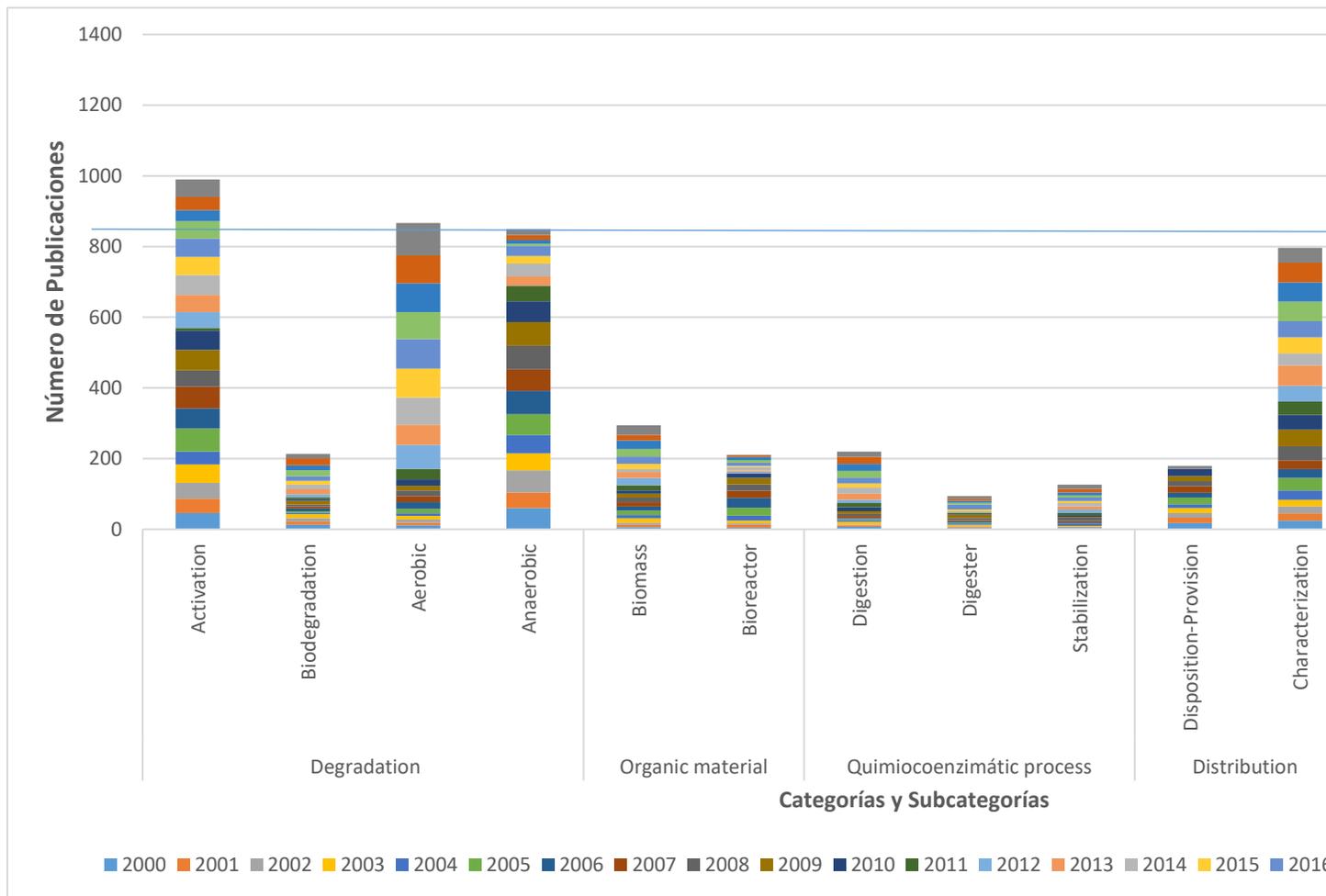


Figura 4a. Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre de origen municipal ■ Promedio 861 (Elaboración propia).

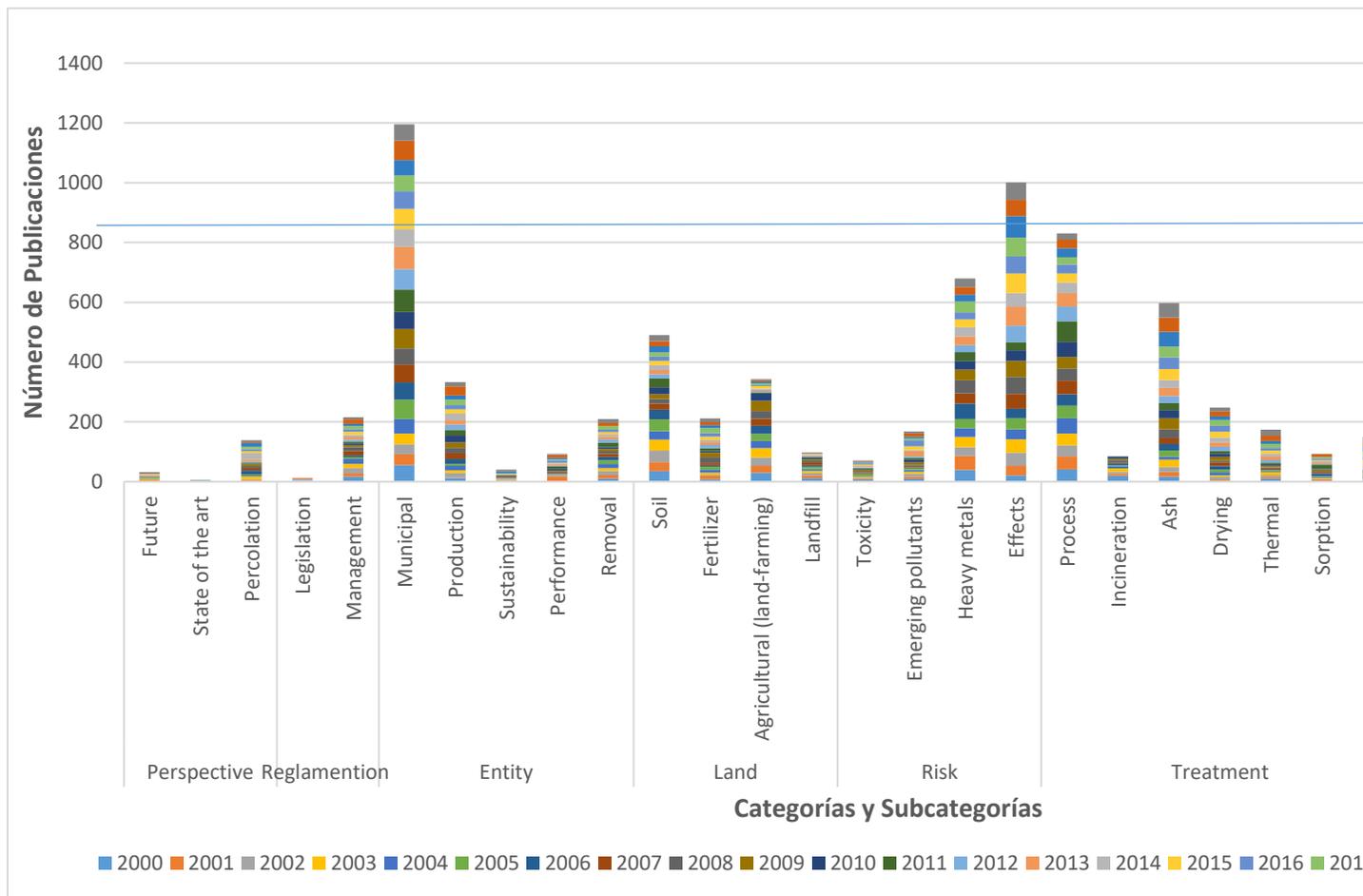


Figura 4b. Categorías y subcategorías de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre de origen municipal ■ Promedio 861 (Elaboración propia).

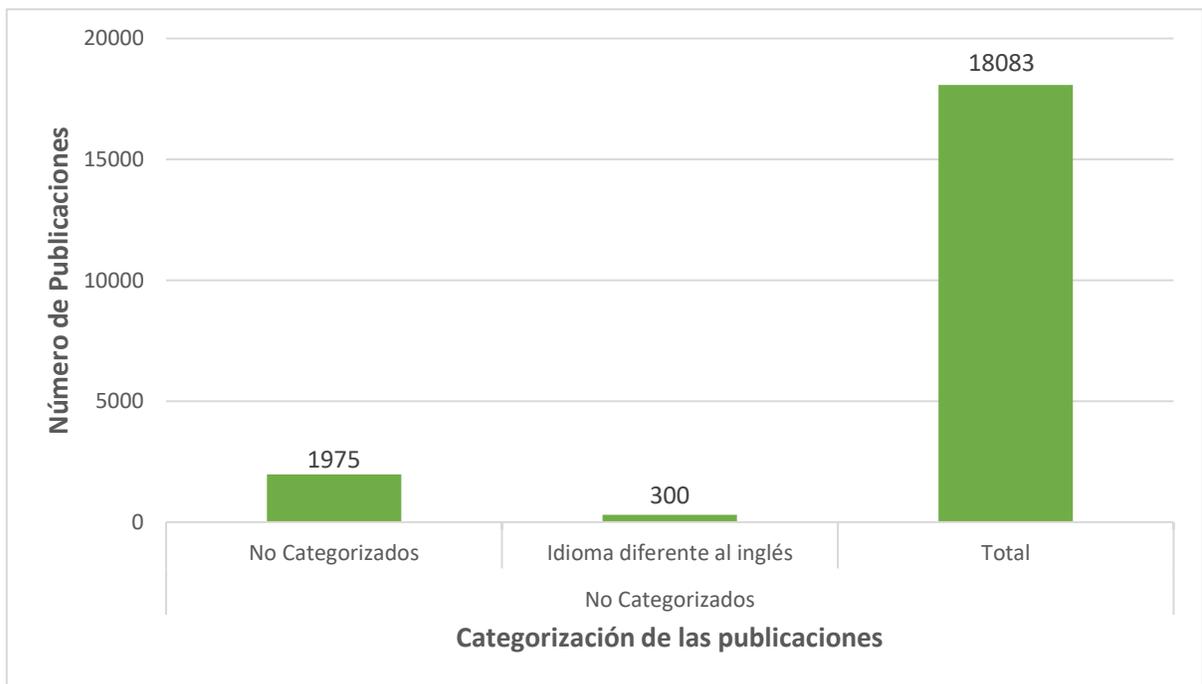


Figura 4c. Número de artículos no categorizados en el periodo 2000 a 2020 sobre Lodos Residuales (Elaboración propia).

Tabla 6. Número de publicaciones mayor al promedio de 861 artículos por categoría en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).

Categoría	Subcategoría	Artículos en el periodo 2000 a 2020
Degradation	Activation	990
	Aerobic	867
Entity	Municipal	1195
Risk	Effects	1001
Waste	Compost	1366
	Application	946
Total		6365
Not Categorized	Not Categorized	1975
	Total de artículos	8340

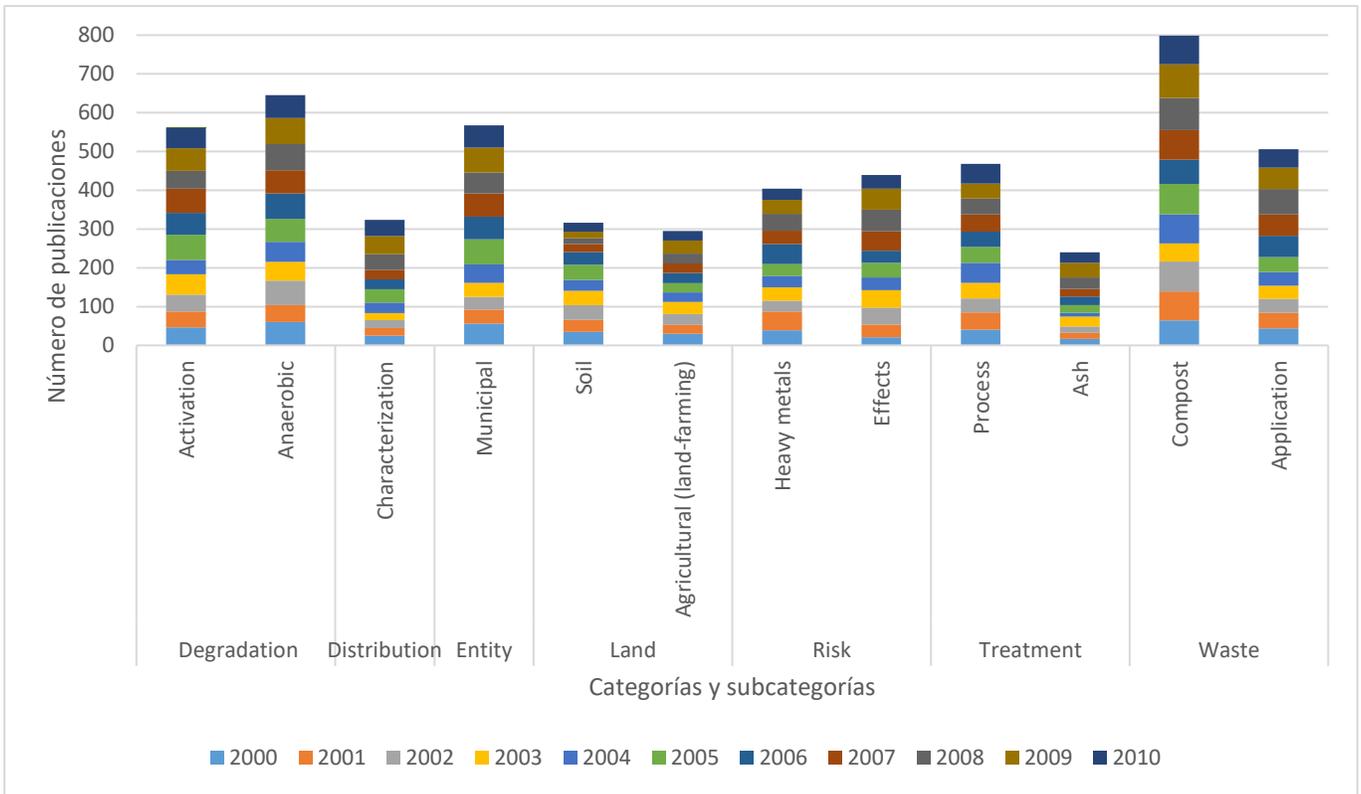


Figura 5. Categorías y subcategorías con mayor número de artículos publicados en el periodo 2000 a 2010 sobre Lodos Residuales de origen municipal (Elaboración propia).

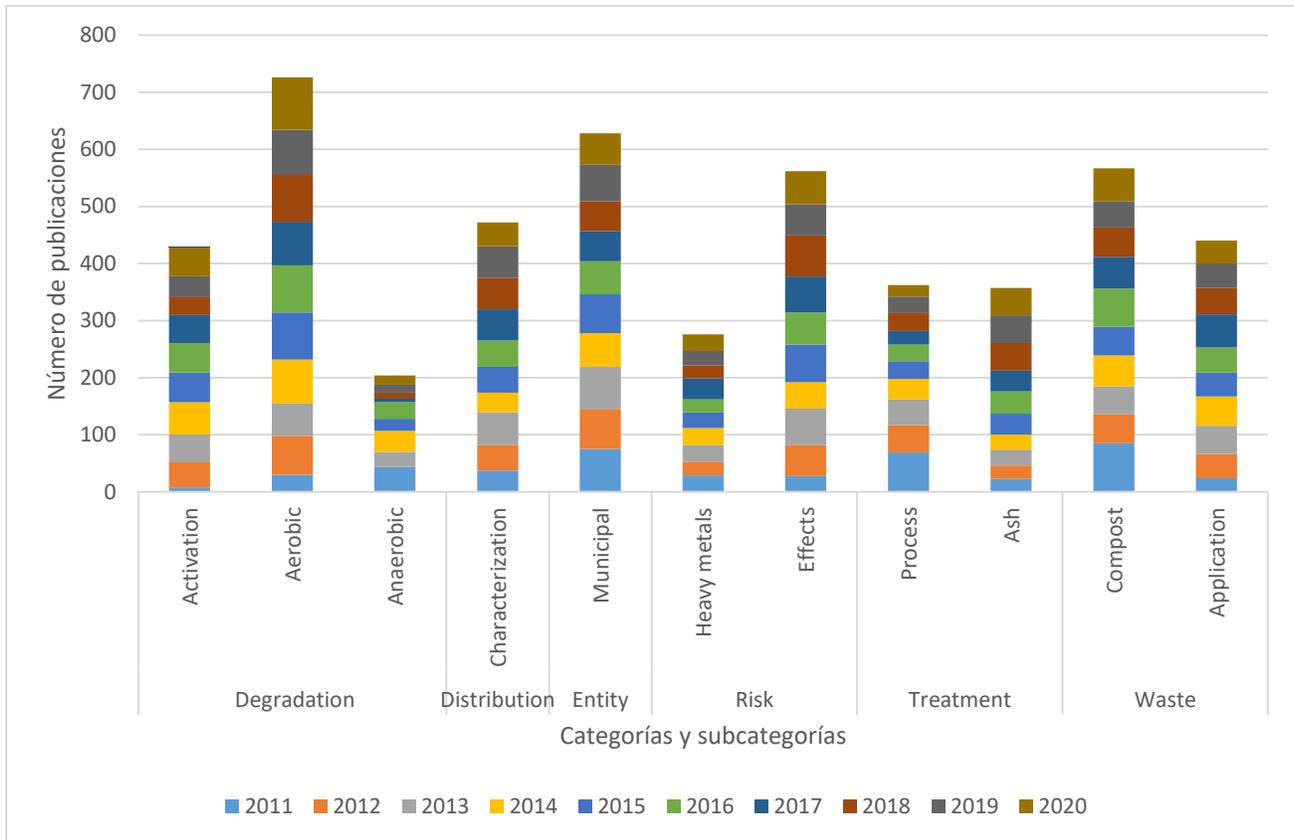


Figura 6. Categorías y subcategorías con mayor número de artículos publicados en el periodo 2011 a 2020 sobre Lodos Residuales de origen municipal (Elaboración propia).

Tabla 7. Número de artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 (Elaboración propia).

Categoría	Subcategoría	Artículos publicados por subcategoría de 2000 a 2020	Total, de artículos publicados por categoría de 2000 a 2020
Degradation	Activation	990	2919
	Biodegradation	213	
	Aerobic	867	
	Anaerobic	849	
Organic material	Biomass	294	505
	Bioreactor	211	
Quimiocoenzimatic process	Digestion	220	440
	Digester	94	
	Stabilization	126	
Distribution	Disposition-Provision	179	975
	Characterization	796	
Generation	Energy	284	777
	Fuels	255	
	Combustion	238	
Perspective	Future	32	177
	State of the art	6	
	Percolation	139	
Reglamentation	Legislation	12	228
	Management	216	

Entity	Municipal	1195	1871
	Production	333	
	Sustainability	40	
	Performance	93	
	Removal	210	
Land	Soil	490	1143
	Fertilizer	212	
	Agricultural (land-farming)	343	
	Landfill	98	
Risk	Toxicity	71	1920
	Emerging pollutants	168	
	Heavy metals	680	
	Effects	1001	
Treatment	Process	830	2177
	Incineration	85	
	Ash	597	
	Drying	248	
	Thermal	174	
	Sorption	93	
	Pyrolysis	150	
Waste	Using	184	2676
	Utilization	67	
	Compost	1366	
	Application	946	
	Recovery	113	
Not Categorized			1975
Different language to english			300

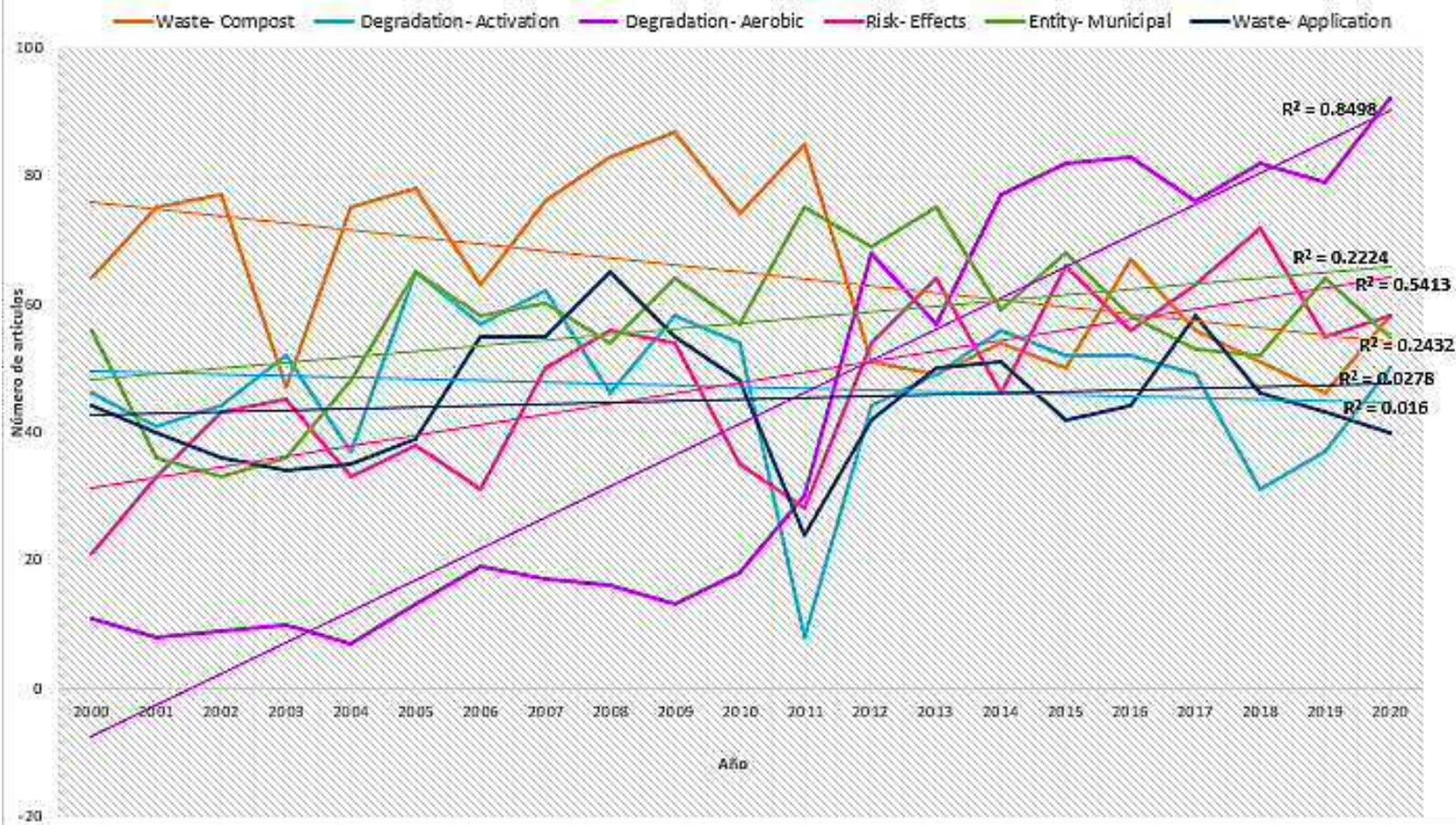


Figura 7. Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categorías y subcategorías con mayor Número de publicaciones y su coeficiente de correlación (Elaboración propia).

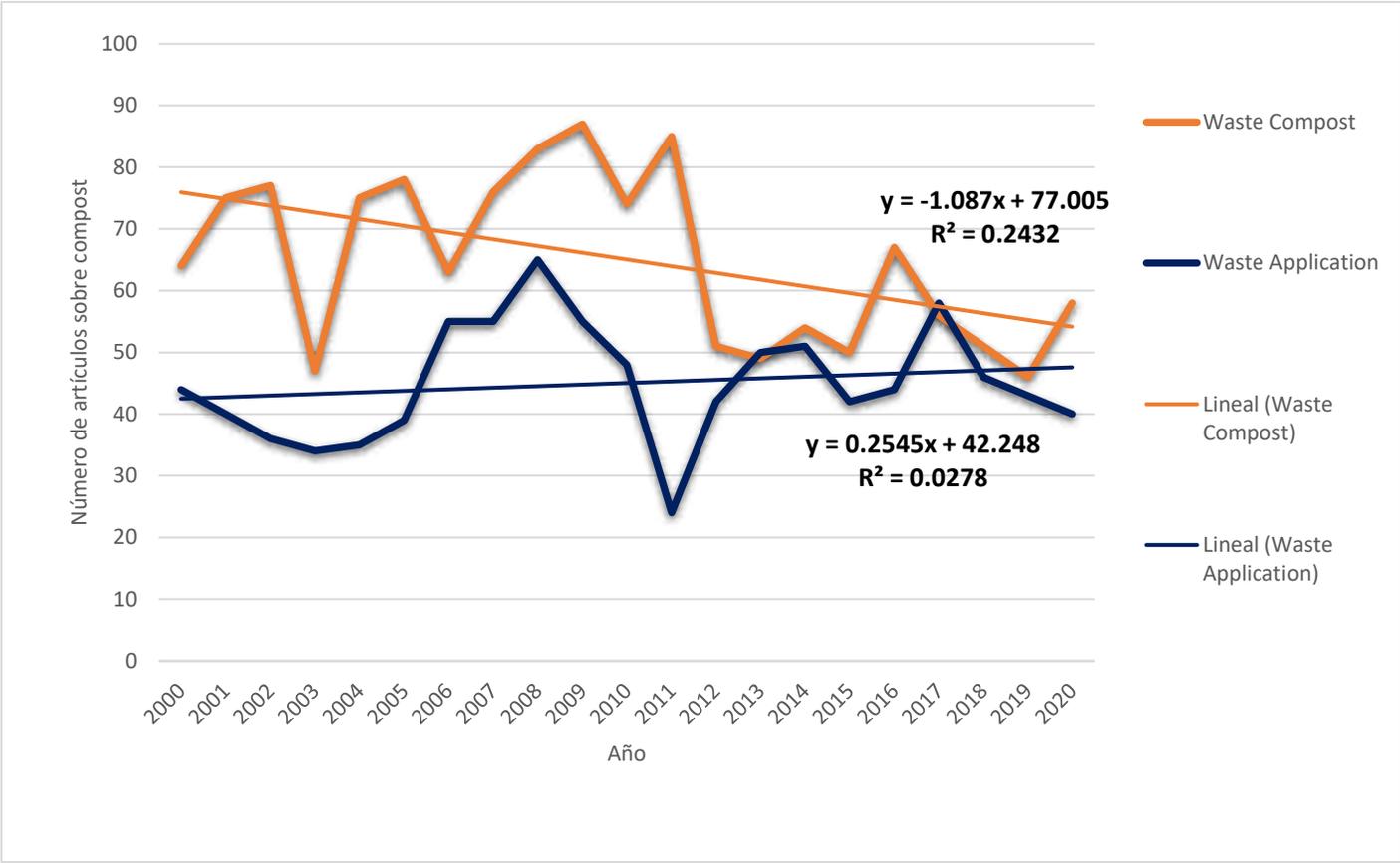


Figura 8. Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría “Waste” y sus subcategorías “Application” y “Compost” (Elaboración propia).



Figura 9. Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría **“Degradation”** y sus subcategorías **“Activation”** y **“Aerobic”** (Elaboración propia).

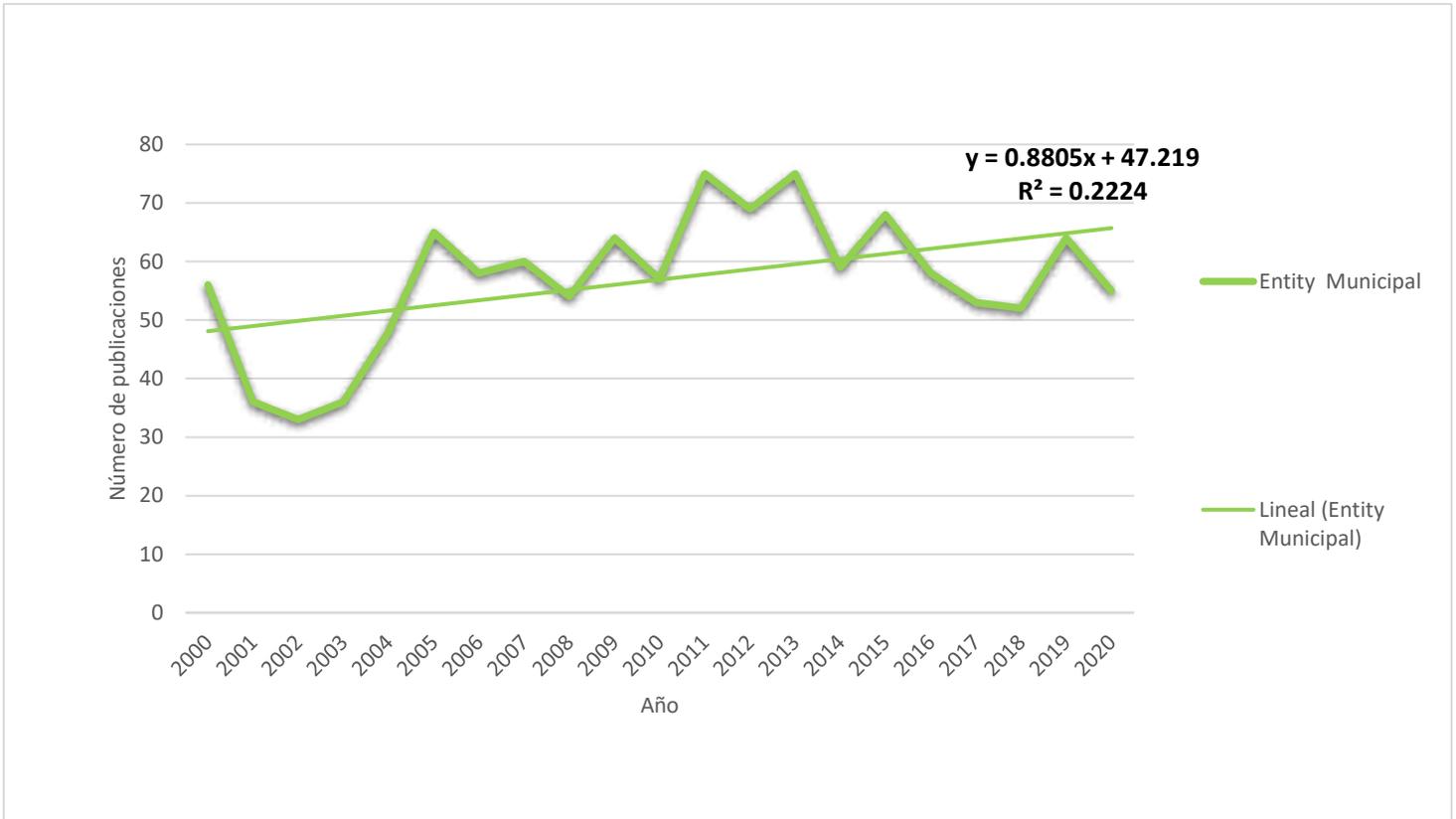


Figura 10. Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría **“Entity”** y su subcategoría **“Municipal”** (Elaboración propia).

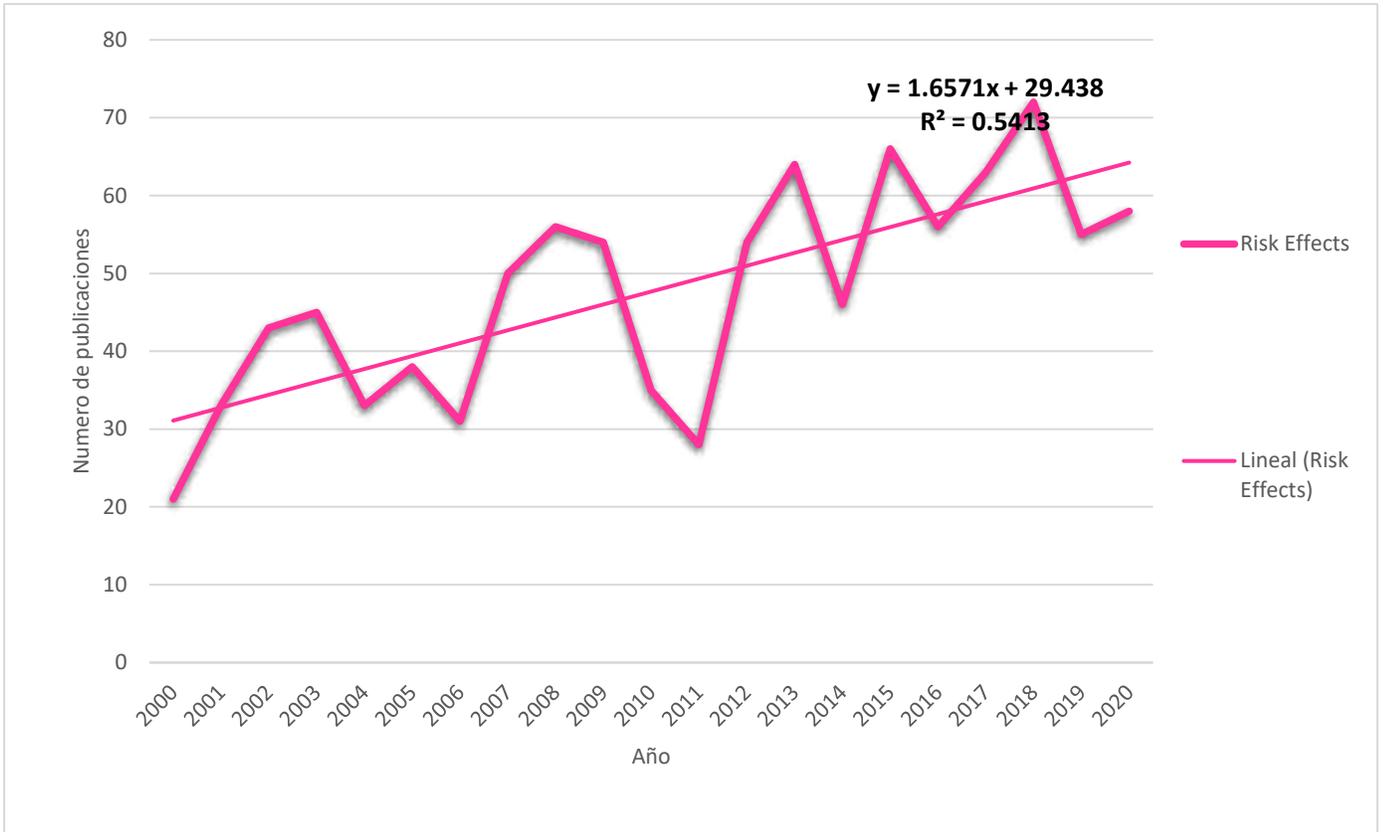


Figura 11. Artículos publicados en el periodo 2000 a 2020 sobre categoría **“Risk”** y su subcategoría **“Effects”** (Elaboración propia).

Conclusiones

Se propone una metodología bibliométrica diseñada en cuatro fases, a) Instalación, b) Recolección, c) Refinación y d) Análisis para determinar la directriz en la investigación científica relacionada con Lodos Residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal.

Se obtuvo el siguiente modelo I para las cuatro categorías de mayor publicación, considerando las 18,083 publicaciones analizadas en el periodo correspondiente a los años 2000 al 2020:

“Waste” (2,312; 12.8%) > “Degradation” (1857; 10.3%) > “Entity” 1195 (6.1%) > “Risk” 1001; (5.5%).

Con las subcategorías se obtuvo el modelo II en relación a las publicaciones con mayor publicación, considerando las 18,083 publicaciones analizadas en el periodo correspondiente a los años 2000 al 2020:

“Compost” (1,366; 7.55%) > “Municipal” (1195; 6.61%) > “Effects” (1001; 5.53%) > “Activation” (990; 5.47%) > “Application” (946; 5.23%) > “Aerobic” (867; 4.79%).

Con los modelos se demuestra el impacto de las publicaciones de las categorías y subcategorías direccionando las futuras investigaciones y contribuir en la innovación de nuevos procesos

Finalmente, esta investigación bibliométrica, realizada sobre la 18083 artículos de de Lodos Residuales Municipales (Municipal Sewage Sludge por su búsqueda en el idioma inglés) en las bases de datos de Scopus y Google Scholar en el periodo 2000 a 2020, hace una trayectoria histórica sobre la directriz presente y las partes críticas de la investigación sobre Lodos Residuales de origen municipal.

La cantidad de literatura asociada con la investigación de Lodos Residuales es grande, sin embargo, supuestamente ha aumentado en los últimos años. En este contexto es importante puntualizar lo siguiente.

- ✓ Se realizó una búsqueda de artículos científicos indexados en bases de datos como Scopus y Google Scholar (por Elsevier y Google) en el periodo de 2000 al 2020.
- ✓ Se establecieron las categorías, subcategorías, características y atributos a través de cuatro criterios: título, palabras clave, resumen y contenido.
- ✓ Se propuso una metodología sencilla, disponible y útil para implantar la directriz en la investigación científica sobre Lodos residuales provenientes de las PTARs.
- ✓ Se encontró una tendencia de investigación en cuanto a las categorías que más artículos publicaron, siendo la categoría **“Degradation”** la que mayor número de publicaciones ha tenido en los 20 años que se investigaron.
- ✓ Se clasificaron y direccionaron las investigaciones para obtener una guía a seguir en las futuras investigaciones.
- ✓ Se encontró la directriz actual de artículos investigados y temas de interés, las categorías de mayor impacto científico fueron Waste, Degradation, Entity y Risk, pero en el último período de 2011 a 2020 la tendencia marcada fue la categoría Degradation con mayor impacto y un creciente interés, de esta categoría la subcategoría Aerobic en el año 2020 tuvo el mayor número de artículos publicados he investigaciones en curso y las gráficas muestran un coeficiente de correlación creciente de $R^2 = 0.8498$ lo cuál demuestra lo antes mencionado.

Referencias Bibliográficas

Abdul Syahid. (2021). Indonesian Journal of Applied Linguistics: A Bibliometric Portrait of Ten Publication Years. *Library Philosophy and Practice*, 5178. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4553590>

Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., ... Cunha-Queda, C. (2015). Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management*, 40, 44–52. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.027>

Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A. P., Fernandes, R. M., Cunha-Queda, A. C., Duarte, E., & Vallini, G. (2007). Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. *Environment International*, 33(4), 505–513. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.006>

Alvarez Garcia, G. (2009). La ciencia de los alimentos y el pardeamiento enzimático. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12737/1726>

Alvarez, J., Lopez, G., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2016). Preparation of adsorbents from sewage sludge pyrolytic char by carbon dioxide activation. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 76–86. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.035>

Araujo Junior, M. M. de, Lermontov, A., Araujo, P. L. da S., & Zaiat, M. (2013). Reduction of sludge generation by the addition of support material in a cyclic activated sludge system for municipal wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 143, 483–489. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.032>

Arthurson, V. (2008). Proper Sanitization of Sewage Sludge: a Critical Issue for a Sustainable Society. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(17), 5267–5275. <http://doi.org/10.1128/AEM.00438-08>

Azmi, N. N., & Hussain, A. (2021). A Bibliometric Analysis of Dropbox on Scopus Publication. *Webology*, *18*(SI02), 54–78. <http://doi.org/10.14704/WEB/V18SI02/WEB18012>

Barrón Hernández, L. M., Gonzaga-Galeana, V. E., Colín-Cruz, A., Esparza-Soto, M., Lucero-Chávez, M., Bâ, K., & Fall, C. (2022). Consistency between the metabolic performance of two aerobic granular sludge systems and the functional groups of bacteria detected by amplicon sequencing. *Environmental Science and Pollution Research*. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-21692-y>

Bunge, M. (2004). *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*. (S. A. de C. V. Siglo XXI, Ed.) (3rd ed.). México.

Carbonell, G., Imperial, R. M. de, Torrijos, M., Delgado, M., & Rodriguez, J. A. (2011). Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). *Chemosphere*, *85*(10), 1614–1623. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.025>

Cenni, R., Janisch, B., Spliethoff, H., & Hein, K. R. . (2001). Legislative and environmental issues on the use of ash from coal and municipal sewage sludge co-firing as construction material. *Waste Management*, *21*(1), 17–31. [http://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00074-X](http://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00074-X)

Chen, G., Zhang, R., Guo, X., Wu, W., Guo, Q., Zhang, Y., & Yan, B. (2021). Comparative evaluation on municipal sewage sludge utilization processes for sustainable management in Tibet. *Science of The Total Environment*, *765*, 142676. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142676>

Chen, T., Zhang, Y., Wang, H., Lu, W., Zhou, Z., Zhang, Y., & Ren, L. (2014). Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, *164*, 47–54.

<http://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.048>

Choi, O. K., Song, J. S., Cha, D. K., & Lee, J. W. (2014). Biodiesel production from wet municipal sludge: Evaluation of in situ transesterification using xylene as a cosolvent. *Bioresource Technology*, *166*, 51–56. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.001>

Christodoulou, A., & Stamatelatos, K. (2016). Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. *Water Science and Technology*, *73*(3), 453–462. <http://doi.org/10.2166/wst.2015.521>

Cieślak, B. M., Namieśnik, J., & Konieczka, P. (2015). Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*, *90*, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.031>

Cimochowicz-Rybicka, M. (2013). Sewage sludge mass minimization technology— from legislation to application. In *Environmental Engineering IV* (pp. 167–171). CRC Press. <http://doi.org/10.1201/b14894-28>

Cofie, O. O., Agbottah, S., Strauss, M., Esseku, H., Montangero, A., Awuah, E., & Kone, D. (2006). Solid–liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. *Water Research*, *40*(1), 75–82. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.023>

Colín-Cruz, A. (2021). Producción y uso sostenible de residuos sólidos: caso Lodos Residuales. In U. A. del E. de México (Ed.), *11 CONGRESO INTERDISCIPLINARIO “DESAFÍOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE* (p. 3). Toluca.

Corrales-Reyes, I. E., Fornaris-Cedeño, Y., & Reyes-Pérez, J. J. (2017). Análisis bibliométrico de la revista investigación en educación médica . Período 2012–2016. *Investigación En Educación Médica*.

<http://doi.org/10.1016/j.riem.2017.02.003>

Crane, R. S., Barton, P., Cartmell, E., Coulon, F., Hillis, P., Judd, S. J., ... Lester, J. N. (2010). Fate and behaviour of copper and zinc in secondary biological wastewater treatment processes: I Evaluation of biomass adsorption capacity. *Environmental Technology*, 31(7), 705–723. <http://doi.org/10.1080/09593330.2010.481314>

Cucina, M., Ricci, A., Zadra, C., Pezzolla, D., Tacconi, C., Sordi, S., & Gigliotti, G. (2019). Benefits and risks of long-term recycling of pharmaceutical sewage sludge on agricultural soil. *Science of The Total Environment*, 695, 133762. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133762>

da Silva Souza, T., Lacerda, D., Aguiar, L. L., Martins, M. N. C., & Augusto de Oliveira David, J. (2020). Toxic potential of sewage sludge: Histopathological effects on soil and aquatic bioindicators. *Ecological Indicators*, 111, 105980. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105980>

De Bere, L. (2000). Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. *Water Science and Technology*, 41(3), 283–290. <http://doi.org/10.2166/wst.2000.0082>

de la Lama García, A., Daturi, D. E., & de la Lama Zubirán, M. A. (2015). Comparación de las nociones sobre la investigación que tienen los científicos de tiempo completo de tres universidades de México*. *Revista de La Educación Superior*, 44(176), 13–35. <http://doi.org/10.1016/j.resu.2015.12.002>

Dereli, R. K., Clifford, E., & Casey, E. (2021). Co-treatment of leachate in municipal wastewater treatment plants: Critical issues and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(11), 1079–1128. <http://doi.org/10.1080/10643389.2020.1745014>

Ding, Y., Xiong, J., Zhou, B., Wei, J., Qian, A., Zhang, H., ... Zhu, J. (2019). Odor removal by and microbial community in the enhanced landfill cover materials containing biochar-added sludge compost under different operating parameters.

Ferge, T., Maguhn, J., Felber, H., & Zimmermann, R. (2004). Particle Collection Efficiency and Particle Re-entrainment of an Electrostatic Precipitator in a Sewage Sludge Incineration Plant. *Environmental Science & Technology*, 38(5), 1545–1553. <http://doi.org/10.1021/es034709s>

Fonts, I., Gea, G., Azuara, M., Ábrego, J., & Arauzo, J. (2012). Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2781–2805. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.070>

Ghorbani, M., & Sabour, M. R. (2021). Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 94–102. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11119-x>

Giannakis, I., Emmanouil, C., Mitrakas, M., Manakou, V., & Kungolos, A. (2021). Chemical and ecotoxicological assessment of sludge-based biosolids used for corn field fertilization. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 3797–3809. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-09165-6>

Grobelak, A., Grosser, A., Kacprzak, M., & Kamizela, T. (2019). Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant—new technical solution. *Journal of Environmental Management*, 234, 90–96. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.111>

Hale, R. C., & La Guardia, M. J. (2003). Have Risks Associated with the Presence of Synthetic Organic Contaminants in Land-Applied Sewage Sludges Been Adequately Assessed? *NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 12(4), 371–386. <http://doi.org/10.2190/EG3A-P708-9A2L-BRF5>

Hansen, S. B., Padfield, R., Syayuti, K., Evers, S., Zakariah, Z., & Mastura, S. (2015). Trends in global palm oil sustainability research. *Journal of Cleaner Production*,

100, 140–149. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.051>

Harzing, A. W. (2007). Publish or Perish, disponible en <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>.

Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezainejad, Y., & Sadeghi, M. (2010). Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2), 43–50. <http://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.007>

Herrera-Navarrete, R., Arellano-Wences, H. J., Colín-Cruz, A., Sampedro-Rosas, M. L., Rosas-Acevedo, J. L., & Rodríguez-Herrera, A. L. (2021). Thematic and Geographical Trend in Scientific Research Applied in Municipal Wastewater Treatment Plants: an Overview. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(8), 318. <http://doi.org/10.1007/s11270-021-05269-y>

Herrera-Navarrete, R., Colín-Cruz, A., Arellano-Wences, H. J., Sampedro-Rosas, M. L., Rosas-Acevedo, J. L., & Rodríguez-Herrera, A. L. (2022). Municipal Wastewater Treatment Plants: Gap, Challenges, and Opportunities in Environmental Management. *Environmental Management*, 69(1), 75–88. <http://doi.org/10.1007/s00267-021-01562-y>

Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569–16572. <http://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>

Huang, Y.-F., Huang, Y.-Y., Chiueh, P.-T., & Lo, S.-L. (2020). Heterogeneous Fenton oxidation of trichloroethylene catalyzed by sewage sludge biochar: Experimental study and life cycle assessment. *Chemosphere*, 249, 126139. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126139>

Jalili, M., Mokhtari, M., Eslami, H., Abbasi, F., Ghanbari, R., & Ebrahimi, A. A. (2019). Toxicity evaluation and management of co-composting pistachio wastes

combined with cattle manure and municipal sewage sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 798–804. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.056>

Jesús Alfredo Liévanos Barrera, L., & Colín, G. J. y A. C. (2022). Gestión ambiental, en la producción de peluches, en Xonacatlán, con enfoque a la economía circular. In U. A. del E. de México (Ed.), *8° Simposio Nacional y 2° Internacional de Sustentabilidad Agenda 2030* (p. 3). Toluca.

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1). <http://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Kelessidis, A., & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, 32(6), 1186–1195. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>

Körner, W., Bolz, U., Süßmuth, W., Hiller, G., Schuller, W., Hanf, V., & Hagenmaier, H. (2000). Input/output balance of estrogenic active compounds in a major municipal sewage plant in Germany. *Chemosphere*, 40(9–11), 1131–1142. [http://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00362-8](http://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00362-8)

Kumar, M., Shreelaxmi, P., & Kamath, M. (2021). Review on Characteristics of Sewage Sludge Ash and Its Partial Replacement as Binder Material in Concrete (pp. 65–78). http://doi.org/10.1007/978-981-15-8293-6_5

Kwon, E. E., Lee, T., Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Park, C., & Lee, J. (2018). Effects of calcium carbonate on pyrolysis of sewage sludge. *Energy*, 153, 726–731. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.100>

Lamastra, L., Suciú, N. A., & Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable **agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer**. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), 10. <http://doi.org/10.1186/s40538->

- Latha, K., Velraj, R., Shanmugam, P., & Sivanesan, S. (2019). Mixing strategies of high solids anaerobic co-digestion using food waste with sewage sludge for enhanced biogas production. *Journal of Cleaner Production*, *210*, 388–400. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.219>
- Lendormi, T., Prevot, C., Doppenbe, F., Foussard, J. N., & Debellefontaine, H. (2001). Subcritical wet oxidation of municipal sewage sludge: comparison of batch and continuous experiments. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, *44*(5), 161–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11695455>
- Leung, W. C., Wong, M.-F., Chua, H., Lo, W., Yu, P. H. F., & Leung, C. K. (2000). Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater. *Water Science and Technology*, *41*(12), 233–240. <http://doi.org/10.2166/wst.2000.0277>
- Li, W., & Zhao, Y. (2015). Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review*, *50*, 158–166. <http://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.012>
- Li, Y., Chang, F., Huang, B., Song, Y., Zhao, H., & Wang, K. (2020). Activated carbon preparation from pyrolysis char of sewage sludge and its adsorption performance for organic compounds in sewage. *Fuel*, *266*, 117053. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117053>
- Liang, J., Zhang, L., Ye, M., Guan, Z., Huang, J., Liu, J., ... Sun, S. (2020).** Evaluation of the dewaterability, heavy metal toxicity and phytotoxicity of sewage sludge in different advanced oxidation processes. *Journal of Cleaner Production*, *265*, 121839. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121839>
- Liang, K., & Liu, J. (2016). Understanding the distribution, degradation and fate of organophosphate esters in an advanced municipal sewage treatment plant

based on mass flow and mass balance analysis. *Science of The Total Environment*, 544, 262–270. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.112>

Liu, X., Zhu, F., Zhang, R., Zhao, L., & Qi, J. (2021). Recent progress on biodiesel production from municipal sewage sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110260. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110260>

Loayssa Lara, J. R., Ruiz Moral, R., & García Campayo, J. (2011). Perspectivas científicas y modelos de formación. Respuesta a la carta «sobre los médicos malvados». *Atención Primaria*, 43(2), 110–111. <http://doi.org/10.1016/j.aprim.2010.03.007>

López, A., Rodríguez-Chueca, J., Mosteo, R., Gómez, J., & Ormad, M. P. (2020). Microbiological quality of sewage sludge after digestion treatment: A pilot scale case of study. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120101. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120101>

López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Guido, M. L., Marsch, R., Olalde-Portugal, V., & Dendooven, L. (2010). Microorganisms in sewage sludge added to an extreme alkaline saline soil affect carbon and nitrogen dynamics. *Applied Soil Ecology*, 45(3), 225–231. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.009>

Ma, W., Shi, W., Shi, Y., Chen, D., Liu, B., Chu, C., ... Chen, G. (2021). Plasma vitrification and heavy metals solidification of MSW and sewage sludge incineration fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124809. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124809>

Marques, R. R. N., Stüber, F., Smith, K. M., Fabregat, A., Bengoa, C., Font, J., ... Graham, N. J. D. (2011). Sewage sludge based catalysts for catalytic wet air oxidation of phenol: Preparation, characterisation and catalytic performance. *Applied Catalysis B: Environmental*, 101(3–4), 306–316. <http://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.09.033>

Mehariya, S., Patel, A. K., Obulisamy, P. K., Punniyakotti, E., & Wong, J. W. C. (2018). Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: Current status and perspective. *Bioresource Technology*, *265*, 519–531. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030>

Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th editio). USA: McGraw-Hill Science/Engineering/Math. Retrieved from http://www.amazon.com/Wastewater-Engineering-Treatment-George-Tchobanoglous/dp/0070418780#reader_0070418780

Molino, A., Chianese, S., & Musmarra, D. (2016). Biomass gasification technology: The state of the art overview. *Journal of Energy Chemistry*, *25*(1), 10–25. <http://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.005>

Morgan-Sagastume, F., Valentino, F., Hjort, M., Cirne, D., Karabegovic, L., Gerardin, F., ... **Werker, A. (2014). Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sludge and municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, *69*(1), 177–184. <http://doi.org/10.2166/wst.2013.643>**

Naghi Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación* (2nd ed.). Limusa.

Naqvi, S. R., Tariq, R., **Shahbaz, M., Naqvi, M., Aslam, M., Khan, Z., ... Al-Ansari, T. (2021). Recent developments on sewage sludge pyrolysis and its kinetics: Resources recovery, thermogravimetric platforms, and innovative prospects. *Computers & Chemical Engineering*, *150*, 107325. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107325>**

Navarrete, R. H., Cruz, A. C., Wences, H. J. A., Laura, M., Rosas, S., & José Luís Rosas Acevedo & América Libertad Rodríguez Herrera. (2021). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: DESAFÍOS EN LA GESTIÓN AMBIENTAL. In Universidad Nacional abierta y a Distancia (Ed.), *3 Congreso Internacional de Ciencias Agrarias y Ambientales* (p. 17). Ciudad de México.

Nazari, L., Yuan, Z., Santoro, D., Sarathy, S., Ho, D., Batstone, D., ... Ray, M. B.

(2017). Low-temperature thermal pre-treatment of municipal wastewater sludge: Process optimization and effects on solubilization and anaerobic degradation. *Water Research*, 113, 111–123. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.055>

Newell, G., Marzuki, M. J., Worzala, E., Adair, A., Hoesli, M., & Rodriguez, M. (2022). The significance of impact in real estate research publications. *Journal of Property Investment & Finance*, 40(1), 49–67. <http://doi.org/10.1108/JPIF-04-2020-0034>

Nsenga Kumwimba, M., Lotti, T., Şenel, E., Li, X., & Suanon, F. (2020). Anammox-based processes: How far have we come and what work remains? A review by bibliometric analysis. *Chemosphere*, 238, 124627. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124627>

Öberg, K., Warman, K., & Öberg, T. (2002). Distribution and levels of brominated flame retardants in sewage sludge. *Chemosphere*, 48(8), 805–809. [http://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00113-3](http://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00113-3)

Obernberger, I. (1998). Decentralized biomass combustion: state of the art and future development1 Paper to the keynote lecture of the session "Processes **for decentralized heat and power production based on combustion**" at the 9th European Bioenergy Conference, June 1996, Copen. *Biomass and Bioenergy*, 14(1), 33–56. [http://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00034-2](http://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00034-2)

Olkiewicz, M., Plechkova, N. V., Fabregat, A., Stüber, F., Fortuny, A., Font, J., & Bengoa, C. (2015). Efficient extraction of lipids from primary sewage sludge using ionic liquids for biodiesel production. *Separation and Purification Technology*, 153, 118–125. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.08.038>

Olofsson, U., Bignert, A., & Haglund, P. (2012). Time-trends of metals and organic contaminants in sewage sludge. *Water Research*, 46(15), 4841–4851. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.048>

- Pasztor, I., Thury, P., & Pulai, J. (2009). Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(1), 51–56. <http://doi.org/10.1007/BF03326059>
- Peng, C., Zhai, Y., Zhu, Y., Xu, B., Wang, T., Li, C., & Zeng, G. (2016). Production of char from sewage sludge employing hydrothermal carbonization: Char properties, combustion behavior and thermal characteristics. *Fuel*, 176, 110–118. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.068>
- QIAN, G., CAO, Y., CHUI, P., & TAY, J. (2006). Utilization of MSWI fly ash for stabilization/solidification of industrial waste sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), 274–281. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.003>
- Qin, L., Huang, X., Xue, Q., Liu, L., & Wan, Y. (2020). In-situ biodegradation of harmful pollutants in landfill by sludge modified biochar used as biocover. *Environmental Pollution*, 258, 113710. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113710>
- Rahube, T. O., Marti, R., Scott, A., Tien, Y.-C., Murray, R., Sabourin, L., ... Topp, E. (2014). Impact of Fertilizing with Raw or Anaerobically Digested Sewage Sludge on the Abundance of Antibiotic-Resistant Coliforms, Antibiotic Resistance Genes, and Pathogenic Bacteria in Soil and on Vegetables at Harvest. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(22), 6898–6907. <http://doi.org/10.1128/AEM.02389-14>
- Ramírez, W. A., Domene, X., Ortiz, O., & Alcañiz, J. M. (2008). Toxic effects of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants. *Bioresource Technology*, 99(15), 7168–7175. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.072>
- Rashed, I. G. A.-A., Akunna, J., El-Halwany, M. M., & Atiaa, A. F. F. A. (2010). Improvement in the efficiency of hydrolysis of anaerobic digestion in sewage

sludge by the use of enzymes. *Desalination and Water Treatment*, 21(1–3), 280–285. <http://doi.org/10.5004/dwt.2010.1575>

Regitano, J. B., Rodrigues, M. M., Martins, G. L., Osti, J. F., Viana, D. G., & de Souza, A. J. (2022). Sewage Sludge Management for Environmental Sustainability: An Introduction. In *Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge* (pp. 1–28). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-030-85226-9_1

Rezaee, F., Danesh, S., Tavakkolizadeh, M., & Mohammadi-Khatami, M. (2019). Investigating chemical, physical and mechanical properties of eco-cement produced using dry sewage sludge and traditional raw materials. *Journal of Cleaner Production*, 214, 749–757. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.153>

Ricardo Herrera Navarrete, Hilda Janet Arellano Wences, Arturo Colín Cruz, María Laura Sampedro Rosas, José Luis Rosas Acevedo, A. L. R. H. (2022). *Implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en PTARMs según la norma ISO 14001*. Universidad Autónoma de Guerrero.

Rodriguez-Sanchez, A., Purswani, J., Lotti, T., Maza-Marquez, P., van Loosdrecht, M. C. M., Vahala, R., & Gonzalez-Martinez, A. (2016). Distribution and microbial community structure analysis of a single-stage partial nitrification/anammox granular sludge bioreactor operating at low temperature. *Environmental Technology*, 37(18), 2281–2291. <http://doi.org/10.1080/09593330.2016.1147613>

Rolsky, C., Kelkar, V., Driver, E., & Halden, R. U. (2020). Municipal sewage sludge as a source of microplastics in the environment. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 14, 16–22. <http://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.12.001>

Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (McGraw-Hill, Ed.) (6th ed.).

Sánchez, L. M. R. S. and G. S. T. (2020). La elección de la teoría: Prácticas científicas en filosofía y epistemología de la imaginación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, (2), 558–575. http://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.99

Schouten, G., & Bitzer, V. (2015). The emergence of Southern standards in agricultural value chains: A new trend in sustainability governance? *Ecological Economics*, 120, 175–184. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.017>

Sedighi, A., Karrabi, M., Shahnavaaz, B., & Mostafavinezhad, M. (2022). Bioenergy production from the organic fraction of municipal solid waste and sewage sludge using mesophilic anaerobic co-digestion: An experimental and kinetic modeling study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111797. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111797>

Simonich, S. L., Begley, W. M., Debaere, G., & Eckhoff, W. S. (2000). Trace Analysis of Fragrance Materials in Wastewater and Treated Wastewater. *Environmental Science & Technology*, 34(6), 959–965. <http://doi.org/10.1021/es991018g>

Singh, S., Kumar, V., Dhanjal, D. S., Datta, S., Bhatia, D., Dhiman, J., ... Singh, J. (2020). A sustainable paradigm of sewage sludge biochar: Valorization, opportunities, challenges and future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122259. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122259>

SMITH, S. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142–156. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>

Tandukar, M., Uemura, S., Machdar, I., Ohashi, A., & Harada, H. (2005). A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the **“fourth-generation” downflow hanging sponge reactors**. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 52(1–2), 323–9. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121225>

Theodoratos, P., Moirou, A., Xenidis, A., & Paspaliaris, I. (2000). The use of

municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activities. *Journal of Hazardous Materials*, 77(1-3), 177–191. [http://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00243-0](http://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00243-0)

Thornton, F. C., Bock, B. R., Behel, A. D., Houston, A., & Tyler, D. D. (2000). Utilization of Waste Materials to Promote Hardwood Tree Growth. *Southern Journal of Applied Forestry*, 24(4), 230–237. <http://doi.org/10.1093/sjaf/24.4.230>

Tong, M., Liu, F., Dong, Q., Ma, Z., & Liu, W. (2020). Magnetic Fe₃O₄-deposited flower-like MoS₂ nanocomposites for the Fenton-like Escherichia coli disinfection and diclofenac degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 385, 121604. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121604>

Torres, R. D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas*, 2. Retrieved from Maracay (Aragua), Venezuela12219

Turek, V., Kilkovský, B., Jegla, Z., & Stehlík, P. (2018). Proposed EU legislation to force changes in sewage sludge disposal: A case study. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 12(4), 660–669. <http://doi.org/10.1007/s11705-018-1773-0>

Venkatesan, A. K., Done, H. Y., & Halden, R. U. (2015). United States National Sewage Sludge Repository at Arizona State University—a new resource and research tool for environmental scientists, engineers, and epidemiologists. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(3), 1577–1586. <http://doi.org/10.1007/s11356-014-2961-1>

Vidrine, J. K. (2008). Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge & Biosolids in Louisiana Regulations. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008(3), 610–626. <http://doi.org/10.2175/193864708788806872>

- Villalobos-Delgado, F. J., di Bitonto, L., Reynel-Ávila, H. E., Mendoza-Castillo, D. I., Bonilla-Petriciolet, A., & Pastore, C. (2021). Efficient and sustainable recovery of lipids from sewage sludge using ethyl esters of volatile fatty acids as sustainable extracting solvent. *Fuel*, 295, 120630. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120630>
- Wang, C., Wang, Y., Kiefer, F., Yediler, A., Wang, Z., & Kettrup, A. (2003). Ecotoxicological and chemical characterization of selected treatment process effluents of municipal sewage treatment plant. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(2), 211–217. [http://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00121-5](http://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00121-5)
- Wang, G., Tang, K., Jiang, Y., Andersen, H. R., & Zhang, Y. (2020). Regeneration of Fe(II) from Fenton-derived ferric sludge using a novel biocathode. *Bioresource Technology*, 318, 124195. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124195>
- Wang, J., & Wang, J. (2007). Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 2–7. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.027>
- Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002–1022. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wang, Q., Li, J., & Poon, C. S. (2019). Using incinerated sewage sludge ash as a high-performance adsorbent for lead removal from aqueous solutions: Performances and mechanisms. *Chemosphere*, 226, 587–596. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.193>
- Wei, L., Zhu, F., Li, Q., Xue, C., Xia, X., Yu, H., ... Bai, S. (2020). Development, current state and future trends of sludge management in China: Based on exploratory data and CO₂-equivalent emissions analysis. *Environment International*, 144, 106093. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106093>

- Wongo Gungula, E., Dieguez Batista, R., & Pérez Ugartemendía, E. (2015). Estrategia didáctica para el perfeccionamiento del proceso de formación interpretativa en la matemática superior. *Actualidades Investigativas En Educación*, 15(2). <http://doi.org/10.15517/aie.v15i2.18954>
- Xia, Y., Tang, Y., Shih, K., & Li, B. (2020). Enhanced phosphorus availability and heavy metal removal by chlorination during sewage sludge pyrolysis. *Journal of Hazardous Materials*, 382, 121110. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121110>
- Xie, W.-M., Zhang, R., Li, W.-W., Ni, B.-J., Fang, F., Sheng, G.-P., ... Yang, M. (2011). Simulation and optimization of a full-scale Carrousel oxidation ditch plant for municipal wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 56(1-2), 9-16. <http://doi.org/10.1016/j.bej.2011.04.010>
- Xiong, J., Zheng, Z., Yang, X., He, J., Luo, X., & Gao, B. (2018). Mature landfill leachate treatment by the MBBR inoculated with biocarriers from a municipal wastewater treatment plant. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 304-310. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2018.08.019>
- Yan, M., Afxentiou, N., & Fokaides, P. A. (2021). The State of the Art Overview of the Biomass Gasification Technology. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 8(4), 282-295. <http://doi.org/10.1007/s40518-021-00196-2>
- Yang, J., Li, L., Li, R., Xu, L., **Shen, Y., Li, S., ... Luo, Y. (2021). Microplastics in an agricultural soil following repeated application of three types of sewage sludge: A field study. *Environmental Pollution*, 289, 117943. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117943>**
- Yang, Q., Peng, Y., Liu, X., Zeng, W., Mino, T., & Satoh, H. (2007). Nitrogen Removal via Nitrite from Municipal Wastewater at Low Temperatures using Real-Time Control to Optimize Nitrifying Communities. *Environmental Science & Technology*, 41(23), 8159-8164. <http://doi.org/10.1021/es070850f>

- Yang, W., Cai, C., & Dai, X. (2020). The potential exposure and transmission risk of SARS-CoV-2 through sludge treatment and disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105043. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105043>
- Zeng, X., Lin, Z., Gui, H., Shao, W., Sheng, G., Fu, J., & Yu, Z. (2010). Occurrence and distribution of polycyclic aromatic carbons in sludges from wastewater treatment plants in Guangdong, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169(1-4), 89–100. <http://doi.org/10.1007/s10661-009-1153-9>
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D.-J., Chang, Y., & Lee, Y.-J. (2017). Sludge treatment: Current research trends. *Bioresource Technology*, 243, 1159–1172. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.070>
- Zhang, Z., & Chen, Y. (2020). Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122955. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122955>
- Zhao, B., Xu, X., Xu, S., Chen, X., Li, H., & Zeng, F. (2017). Surface characteristics and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the bio-char produced by co-pyrolysis from municipal sewage sludge and hazelnut shell with zinc chloride. *Bioresource Technology*, 243, 375–383. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.032>
- Zhao, J., Hou, T., Zhang, Z., Shimizu, K., Lei, Z., & Lee, D.-J. (2020). Anaerobic co-digestion of hydrolysate from anaerobically digested sludge with raw waste activated sludge: Feasibility assessment of a new sewage sludge management strategy in the context of a local wastewater treatment plant. *Bioresource Technology*, 314, 123748. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123748>
- Zhao, Q., Chu, S., He, D., Wu, D., Mo, Q., & Zeng, S. (2021). Sewage sludge application alters the composition and co-occurrence pattern of the soil bacterial community in southern China forestlands. *Applied Soil Ecology*, 157, 103744. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103744>

- Zheng, T., Li, P., Shi, Z., & Liu, J. (2017). Benchmarking the scientific research on wastewater-energy nexus by using bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35), 27613–27630. <http://doi.org/10.1007/s11356-017-0696-5>
- Zheng, T., Li, P., Wu, W., Liu, J., Shi, Z., Guo, X., & Liu, J. (2018). State of the art on granular sludge by using bibliometric analysis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(8), 3453–3473. <http://doi.org/10.1007/s00253-018-8844-5>
- Zorita, S., Mårtensson, L., & Mathiasson, L. (2009). Occurrence and removal of pharmaceuticals in a municipal sewage treatment system in the south of Sweden. *Science of The Total Environment*, 407(8), 2760–2770. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.030>