



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ESTUDIO DE CATEGORÍAS, CARACTERÍSTICAS Y ATRIBUTOS
EN LA TENDENCIA EN INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE
LODOS RESIDUALES EN PTAR's DE ORIGEN MUNICIPAL

TESIS

Para obtener el título de Ingeniera Petroquímica

Presenta
Sandra Oble Martínez

Asesores:

Asesor Académico:
Dr. en Ing. Arturo Colín Cruz

Co-asesor:
Dr. en Ed. Jesús Alfredo Liévanos Barrera

Toluca, México,
Marzo, 2023



Índice

| | |
|---|----|
| Índice de figuras..... | 8 |
| Índice de tablas | 10 |
| Resumen | 11 |
| Abstract..... | 12 |
| Definición del problema..... | 14 |
| Pregunta de investigación..... | 14 |
| Objetivo general | 15 |
| Objetivos específicos | 15 |
| Introducción..... | 16 |
| Capítulo 1. Marco Teórico..... | 18 |
| 1.1 Componentes del análisis bibliométrico | 18 |
| 1.1.1 Bibliometría | 18 |
| 1.1.2 Indicadores bibliométricos | 19 |
| 1.1.2.1 índice h..... | 20 |
| 1.1.2.2 índice g..... | 21 |
| 1.1.2.3 Índice hl normal | 22 |
| 1.1.2.4 Índice hl anual..... | 22 |
| 1.1.2.5 índice hA | 22 |
| 1.1.2.6 Índice hc..... | 23 |
| 1.2.3 Categorías | 23 |
| 1.2.4 Características | 24 |
| 1.2.4.1 Tratamiento de aguas residuales municipales | 25 |
| 1.2.4.2 Lodos por su composición química | 27 |
| 1.2.5 Atributos | 27 |
| Capítulo 2. Metodología..... | 28 |
| 2.1 Fase 1. Instalación | 28 |
| 2.2 Fase 2. Recolección..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Fase 3. Refinación..... | 30 |
| 2.4 Fase 4. Análisis..... | 31 |
| Capítulo 3. Resultados y Discusión..... | 33 |
| 3.1 <i>Tendencia global</i> | 56 |
| 3.2 <i>Tendencia temática</i> | 58 |
| Conclusiones..... | 68 |
| Referencias..... | 70 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Indicadores bibliométricos empleados por Harzing | 20 |
| Figura 2. Ejemplo de obtención de índice h (elaboración propia)..... | 21 |
| Figura 3. Tren de tratamiento para aguas residuales municipales | 26 |
| Figura 4. Diagrama metodológico propuesto por (Antonio-Macedo, 2022) | 28 |
| Figura 5. Página principal de Harzing. | 33 |
| Figura 6. Programa de Publish or Perish con base de datos de Scopus | 34 |
| Figura 7. Programa de Publish or Perish con base de datos de Google Scholar.. | 35 |
| Figura 8. Gráfico de índice h , índice g , índice h_1 normal, índice h_1 anual, índice h_A e índice h_c , con respecto al año y base de datos..... | 38 |
| Figura 8a. Gráfica índice h vs año, con promedio ■ para Scopus y ■ para Google Scholar, con palabra clave “Municipal Sewage Sludge” | 39 |
| Figura 8b. Índice g por año con base de datos Scopus y Google Scholar para la palabra clave “Municipal Sewage Sludge” | 40 |
| Figura 9. Desmarcar 0 citas. | 41 |
| Figura 10. Exportar resultados a Excel. | 42 |
| Figura 11. Datos exportados a Excel con encabezado. | 42 |
| Figura 12. Creación de tabla con todos los valores (citas, autor, título, año y fuente)..... | 43 |
| Figura 13. Quitar duplicados en Excel..... | 44 |
| Figura 14. Categorías filtradas en diferentes hojas de Excel | 50 |
| Figura 15. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre Lodos Residuales de PTAR's de origen municipal con un ■ promedio de 798 | 53 |
| Figura 15a. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre Lodos Residuales de PTAR's de origen municipal con un ■ promedio de 798 | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 15b. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre Lodos Residuales de PTAR's de origen municipal con un promedio de 798. | 55 |
| Figura 16a. Total de publicaciones al año por categoría en la investigación de lodos residuales de PTAR's municipales. | 57 |
| Figura 16b. Publicaciones totales por categoría en el periodo 2000–2021 | 58 |
| Figura 17a. Tendencia en la publicación “Degradation” por subcategorías (2000–2020) | 59 |
| Figura 17b. Total de publicaciones en “Degradation” por subcategorías (2000–2020) | 60 |
| Figura 18a. Tendencia en la publicación “Waste” por subcategorías (2000–2020) 62 | |
| Figura 18b. Total de publicaciones en “Waste” por subcategorías (2000–2020) ... | 63 |
| Figura 19a. Tendencia en la publicación “Entity” por subcategorías (2000–2020) 65 | |
| Figura 19b. Total de publicaciones en “Entity” por subcategorías (2000–2020) | 66 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Ejemplo de unificación de datos en Excel obtenidos para lodos residuales municipales en el periodo 2000–2020 (elaboración propia)..... | 31 |
| Tabla 2. Métricas de citación correspondientes al periodo 2000–2020 para la palabra clave “Municipal Sewage Sludge” . Base de datos Scopus (Sco) y Google Scholar (GS)..... | 37 |
| Tabla 3. Categorías de investigación y su descripción (Antonio-Macedo, 2022) .. | 46 |
| Tabla 4. Categorías y subcategorías para lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales..... | 49 |
| Tabla 5. Publicaciones por categorías y subcategorías al año..... | 51 |
| Tabla 6. Total de publicaciones y publicaciones con índice h, en “Degradation” por subcategorías (2000–2020) | 61 |
| Tabla 7. Total de publicaciones y publicaciones con índice h, en “Waste” por subcategorías (2000–2020) | 64 |
| Tabla 8. Total de publicaciones y publicaciones con índice h, en “Entity” por subcategorías (2000–2020) | 67 |

Resumen

Esta investigación tiene como propósito proponer categorías, características y atributos, para determinar la tendencia de publicaciones con relación a lodos residuales o biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas **residuales (PTAR's) de origen municipal. Las tendencias observadas hasta hoy son muy diversas y por ello se requiere conocer la directriz que marca el rumbo de la investigación sobre los lodos residuales que generan dichas PTAR's. Lo que permite a los investigadores incursionar y continuar su investigación en un área de interés específico. Por todo lo anterior, esta investigación es de tipo bibliométrica (2000–2020) empleando el software Harzing's publish or perish V. 8.8.4275 el cual permite obtener datos para análisis bibliométricos extraídos de varias bases de datos y empleando la metodología propuesta por (Antonio-Macedo, 2022) para fines de esta investigación se usaron Scopus y Google Scholar.**

Se utilizó una metodología basada en 4 fases para el análisis bibliométrico, que consiste en un paso de instalación, recolección, refinación y análisis, para la refinación se proponen 12 categorías y 44 subcategorías, identificadas con palabras clave de diversos artículos.

Los resultados desglosan 16,770 artículos, de los cuales 14,454 fueron subcategorizados en 12 categorías, 2,095 artículos no fueron categorizados y 221 artículos pertenecen a los artículos que no se encuentran en el idioma inglés.

El modelo de tendencia encontrado para categorías es el siguiente:

“Degradation” (2731; 16.29%) > “Waste” (2,548; 15.19%) > “Entity” (1,988; 11.85%).

Para las subcategorías el modelo de tendencia encontrado fue:

“Anaerobic” (1,475; 8.8%) > “Municipal” (1,201; 7.16%) > Compost (1,175; 7.01%) > “Activated” (903; 5.38%) > “Aplication” (829; 4.94%)

En conclusión las investigaciones futuras tienen una gama de oportunidad de investigación en cuanto a temas de distribución, generación, regulación y perspectiva, ya que son temas de poca investigación ya que estos pueden representar un punto importante para la mejora de procesos, e impactos en el bienestar de las generaciones futuras.

Palabras clave: lodos residuales, PTAR's, bibliometría, categorías, características, atributos, **Harzing's**

Abstract

The purpose of this research is to propose categories, characteristics and attributes, to determine the trends of publications in relation to residual sludge or biosolids from wastewater treatment plants (WWTPs) of municipal origin. The trends observed to date are very diverse and therefore This requires knowing the guideline that sets the course of the investigation on the residual sludge generated by said WWTPs. This allows researchers to venture into and continue their research in an area of specific interest. For all the above, this research is of the bibliometric type (2000–2020) using the software Harzing's publish or perish V. 8.8.4275 which allows obtaining data for bibliometric analysis extracted from various databases and using the methodology proposed by (Antonio-Macedo, 2022) for the purposes of this research, Scopus and Google Scholar were used.

A methodology based on 4 phases was used for the bibliometric analysis, which consists of a step of installation, collection, refining and analysis. For refining, 12 categories and 44 subcategories, identified from keywords from various articles.

The results break down 16,770 articles, of which 14,454 were subcategorized in the 12 proposed categories, 2,095 articles were not categorized and 221 articles belong to articles that are not in the English language.

The trend model found for categories is the following:

“Degradation” (2731; 16.29%) > “Waste” (2,548; 15.19%) > “Entity” (1,988; 11.85%).

For the subcategories, the trend model found was:

“Anaerobic” (1,475; 8.8%) > “Municipal” (1,201; 7.16%) > Compost (1,175; 7.01%) > “Activated” (903; 5.38%) > “Aplication” (829; 4.94%)

In conclusion, future research has a range of research opportunities in terms of distribution, generation, regulation and perspective issues, since they are topics of little research since these can represent an important point for the improvement of processes, and impacts on the well-being of future generations.

Definición del problema.

En investigación científica sobre lodos residuales en función de sus categorías, características y atributos y todo lo que estos abarcan hay muy poca investigación con base bibliométrica que sirva como referencia para encontrar una tendencia sobre el rumbo a tomar para futuras investigaciones.

En este sentido, se quiere ayudar a los investigadores analizar el impacto que causa el trabajo científico sobre lodos residuales. Es por ello, que en esta investigación se utiliza la bibliometría para determinar una tendencia de investigación científica, basándose en categorías, características y atributos para poder definir estas categorías.

Determinar las categorías, características y atributos sobre la tendencia de los últimos veinte años (2000 a 2020) en la investigación científica sobre lodos residuales empleando un estudio bibliométrico con el programa **Harzing's** permitirá orientar investigaciones futuras en una dirección de interés específica, como lo es para la licenciatura en petroquímica.

Pregunta de investigación

¿Cómo establecer categorías, características y atributos para que mediante un estudio bibliométrico se encuentren tendencias de investigación sobre Lodos Residuales?

Objetivo general

Proponer categorías, características y atributos de lodos residuales de PTAR's municipales para determinar la tendencia sobre investigación en el periodo 2000–2020 mediante un estudio bibliométrico empleando el programa Harzing's publish or perish.

Objetivos específicos

- **Obtener y operar el programa Harzing's publish or perish** haciendo una búsqueda de artículos de investigación científica con ayuda de palabras claves (municipal sewage sludge) y en base de datos como Scopus y Google Scholar en un periodo de 2000–2020.
- Establecer categorías, características y atributos de acuerdo con su afinidad, partiendo de otras investigaciones y en base al criterio propio.
- Aplicar la metodología descrita por (Antonio-Macedo, 2022)

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” (Macedo 2022).

El término lodos residuales o biosólidos, es una expresión que se aplica al subproducto del tratamiento de aguas residuales aerobio y/o anaerobio y que lleva todos los contaminantes que se le han retirado del agua usada, ya sea transformados o no, dependiendo del tipo de planta, tratamiento, operación y origen (Paiva et al. 2020; Coura et al. 2021). La investigación en materia de lodos residuales es abundante (George Tchobanoglous et al., 2003; (Singh et al. 2008; Singh et al., 2020; Villalobos-Delgado et al. 2021; Antonio-Macedo 2022) .

De acuerdo con lo anterior se sabe que se han llevado a cabo numerosos estudios para determinar sus propiedades tanto físicas como químicas y biológicas, en los cuales son sometidos a diversos tratamientos.

Por consiguiente, es necesario el análisis de tendencias en estos estudios ya que ayudaran a los investigadores a planificar su investigación y familiarizarse con los últimos descubrimientos, además de hacer una comparativa de sus alcances. Es por ello por lo que se hace uso de los análisis bibliométricos para analizar la literatura en un campo específico, para evaluar la tendencia de investigación en un tiempo determinado y los datos que se utilizan están ordenados y se abstraen de una base de datos de publicaciones científicas como Scopus, Google Scholar, Crossref, Web of science, Semantic Scholar, entre otros. (Harzing et al. 2016)

Los lodos al estudiarse se realizan a través de categorías dadas por características que posean, por ejemplo: se habla de lodos industriales, mixtos y municipales (Garg et al. 2006). Los lodos residuales industriales (Singh *et al.*, 2020), para lodos mixtos, es decir, la combinación de lodos industriales y municipales forman estos lodos (Armstrong *et al.*, 2017), luego la categoría de los municipales, en donde básicamente se encuentran contaminantes de descargas domésticas (Raksasat *et al.*, 2020).

En este contexto las categorías pueden diversificarse porque pueden existir lodos residuales de procesos naturales como producto de una lluvia, de un huracán o desastres naturales, también de los procesos agropecuarios se producen este tipo de residuos. Por lo anterior es importante establecer categorías que permitan hacer búsquedas de información sobre temas específicos como es el de lodos residuales en software especializados y estos temas deben cumplir con características que los identifiquen y que contengan ciertos atributos, lo cual es objeto de la presente investigación. Además de evaluar sistemáticamente y con ayuda de un análisis bibliométrico para rastrear los principales temas que resultan con una tendencia de investigación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Componentes del análisis bibliométrico

1.1.1 Bibliometría

Es una herramienta basada en el uso y aplicación de análisis estadísticos para el estudio de las características en la publicación de documentos, así mismo emplea un estudio cuantitativo de la producción de documentos y además considera varios elementos tales como autores, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras claves o descriptores. (Solano López *et al.*, 2009)

El uso de la bibliometría es particularmente adecuado para el mapeo científico ya que el énfasis en las contribuciones empíricas está produciendo considerables corrientes de investigación voluminosas, fragmentadas y controvertidas. (Aria *et al.* 2017)

Han surgido numerosas y variadas investigaciones sustentadas en la bibliometría para corroborar tendencias de investigación y aunque hay en menor cantidad relacionadas a lodos residuales, podemos encontrar algunas enlazadas al tema, como es el caso de (Knapczyk *et al.*, 2019), para un análisis de tendencia de materiales biosólidos tales como materia prima para biocombustibles en un periodo de 2014-2018, se evaluaron temas de investigación e instituciones que ha tenido mayor relevancia en investigación en ese periodo de tiempo utilizando como base de datos Scopus y el programa VOSviewer (es una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas) para analizar la frecuencia en aparición de palabras clave.

Una investigación en la que se aplicó un análisis bibliométrico es Zheng *et al.* (2017) en la que se utilizó la base de datos documental del Science Citation Index (SCI) en un periodo de 1991 a 2015 para la realización de una comparativa de investigación relacionada con el vínculo entre aguas residuales y energía, arrojando resultados

basados en un indicador de impacto h , arrojando resultados basados en un indicador de impacto h que representa la biografía científica de un autor. El índice h es el número aplicado a un investigador que tiene h trabajos que han sido citados al menos h veces. (Gálve Toro et al. 2006)

En la base de datos Web of Science Core Collection y la base de datos Derwent Innovation Index se analizaron de forma bibliométrica 30,023 artículos con respecto al tratamiento biológico del agua con el fin de mostrar los países con mayor número de documentos científicos en los años que van desde 1935 a 2021 y patentes en el periodo de 1967 a 2021, usando como base de datos la Colección principal (WOS) de Web of Science. (Jin et al., 2023).

La tendencia en lodos residuales; hace uso de un estudio bibliométrico, es decir, busca el análisis de la información a través de un software para obtener las publicaciones de **autores en un tema. En este trabajo se usa Harzing's publish or perish V. 8.8.4275** (Harzing, 2007), se pueden reconocer diversos artículos publicados en cierto periodo de tiempo por los investigadores, ya que existe gran cantidad de información respecto a las plantas de tratamiento de aguas residuales y su principal subproducto que son los lodos residuales que producen energía eléctrica y que conforman parte de una serie de alternativas que pretenden mejorar la calidad de vida de las personas y al mismo tiempo contribuir con el medio ambiente (Fu et al., 2010).

1.1.2 Indicadores bibliométricos

Los indicadores bibliométricos son instrumentos que nos permiten otorgar valor a la actividad científica y su influencia tanto del artículo como de su fuente y se mide a través del análisis de citas que reciben. Tales como: índice h , índice g , índice h_i normal, índice h_i anual, índice h_A e índice h_c , como se muestra en la Figura 1.

| Citation metrics | Help |
|-------------------------------------|----------------------|
| Publication years: | 2020-2021 |
| Citations years: | 1 (2020-2021) |
| Papers: | 44 |
| Citations: | 1280 |
| Cites/year: | 1280.00 |
| Cites/paper: | 29.9 |
| Authors/paper: | 1.00 |
| h-index: | 14 |
| g-index | 35 |
| hI,norm: | 14 |
| hI, anual: | 14.0 |
| hA-index: | 14 |
| Papers with ACC \geq 1,2,5,10,20: | 39,33,27,20,10 |

Figura 1. Indicadores bibliométricos empleados por Harzing

1.1.2.1 índice h

Este índice propuesto por Hirsch en su artículo titulado *Un índice para cuantificar el resultado de la investigación científica de un individuo* que nos dice:

“propongo el índice *h*, definido como el número de artículos con número de citación mayor o igual a *h*, como un índice útil para caracterizar la producción científica de un investigador”. (Hirsch, 2005)

Su objetivo es medir la productividad de un investigador en base a la cantidad de citas que ha recibido. El índice *h* se obtiene al ordenar los artículos de un autor con respecto al número de citas de cada artículo de mayor a menor, el índice *h* quedara determinado en base a que el n° **de citas sea \geq** la posición del articulo (rango).

De este modo un autor que tenga un índice $h = 3$ significa que tiene tres artículos que por lo menos poseen tres o más citas.

| Posición | n° de citas |
|----------|-------------|
| 1 | 65 |
| 2 | 32 |
| 3 | 11 |
| 4 | 3 |
| 5 | 2 |

Orden de mayor a menor

índice h → 3

Es mayor o igual a la posición ← 3

Figura 2. Ejemplo de obtención de índice h (elaboración propia).

1.1.2.2 índice g

El índice g permite cuantificar la actividad bibliométrica de un autor basándose en su historial de publicaciones, es decir, permite la utilización de citas de un artículo con mayor número de citas para reforzar los artículos con una cantidad menor de citas (Egghe, 2006).

Para obtener el índice g , se ordenan los artículos de un autor respecto a sus citas en orden decreciente, de esta forma la sumatoria de citas de todos los artículos **debe ser \geq al cuadrado del número de orden mayor, por lo que ese número de orden** será considerado el índice g para ese autor.

Es decir, que si un autor tiene un índice $g = 10$ significa que ese autor tiene por lo menos 10 artículos que en conjunto recibieron por lo menos 100 citas, sin importar que tenga artículos sin ninguna cita.

1.1.2.3 Índice h_l normal

El índice h_l normal, se refiere al índice h que obtiene un autor de forma individual, este se calcula normalizando el número de citas, es decir, dividiendo el número de citas de un artículo entre el número de autores de ese artículo, para posteriormente calcular el índice h con el nuevo número de citas. (Harzing, 2007)

1.1.2.4 Índice h_l anual

El índice h individual anual hace referencia al número de artículos de alto impacto de un solo autor por año, esta se calcula con el índice h individual normal de un autor entre la edad académica.

De esta manera si el índice h_l es 1.0 significa que ese autor ha publicado por lo menos un artículo al año y además ha acumulado las suficientes citas para considerarse dentro del índice h .

1.1.2.5 índice h_A

Este índice h_A promedio (Average en inglés), es un índice promedio de h en el cual se divide el recuento de citas de cada artículo entre la antigüedad del artículo.

1.1.2.6 Índice hc

Este índice fue propuesto por Antonis Sidiropoulos, Dimitrios Katsaros y Yannis Manolopoulos, y denominado como índice hc contemporáneo (Sidiropoulos et al. 2006), estos autores explican que se debe poner menos peso a los artículos que son más antiguos y agregar más peso a los que son más recientes, por lo que la plataforma Publish or Perish (Harzing, 2007) usa parámetros 4 y 1, para los artículos más recientes y para los artículos más antiguos respectivamente, o sea, para artículo publicado en el año que se transcurre sus citas tendrá un valor 4 veces mayor, en una relación 4/1, por lo que para un artículo que lleva 4 años de haber sido publicado sus citas se tomaran en cuenta en base a una relación 4/4, es decir, que sus citas cuentan solo una vez, lo mismo ocurre para los años posteriores sus citas se contarán como $4/(\text{años transcurridos desde la publicación})$, ejemplificando, para un artículo publicado hace 7 años la relación será 4/7 y así sucesivamente para artículos con mayor antigüedad.

1.2.3 Categorías

De acuerdo con la Real Academia Española (RAE) se puede denominar categoría a una división o condición establecida para clasificar algo en base a una jerarquía o criterio.

Basándonos en esta definición y para este estudio encontramos que los análisis de tendencias a través del tiempo pueden ser muy utilizadas para evaluar y proporcionar datos en el tiempo sobre categorías como metales pesados, contaminantes orgánicos, contaminantes tóxicos, microorganismos, etc., presentes en los lodos residuales (Olofsson et al. 2012), como lo refieren (Fuet al. 2010; Zheng

et al. 2017) que hacen un análisis sobre los residuos sólidos para evaluar la tendencia utilizada en la literatura en el Science Citation Index (SCI) de 1993 a 2008. También se ha investigado en los últimos años los procesos de nitrificación parcial-anammox (PN/AMX), siendo una tendencia dentro de los desarrollos de investigación (Nsenga Kumwimba *et al.*, 2020).

Se requiere un enfoque de investigación sobre la caracterización de las cenizas de lodos residuales provenientes de los incineradores, la disponibilidad de fósforo, concentraciones y comportamiento de los contaminantes en el suelo para comprender los efectos de la aplicación a éste de las cenizas provenientes de los lodos residuales sobre las propiedades químicas del suelo y su consecuente producción (Ma et al. 2021). En éstas categoría 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; da Silva Souza *et al.*, 2020; Liang *et al.*, 2020), recuperación de materiales (Olkiewicz et al., 2015; Wang, Li and Poon, 2019; Villalobos-Delgado et al., 2021), y gestión (Cieślik et al. 2015; Grobelak et al., 2019; Zhao et al., 2020; Chen et al., 2021), entre otras categorías, en este estudio se utilizó un análisis bibliométrico efectivo para evaluar la producción científica global de la investigación sobre compost durante el período 1997-2012. Los datos proceden de la base de datos del SCI publicada por ISI Web of Science, Filadelfia, PA, EE. UU. Los artículos relacionados con el compost se analizaron a partir de los aspectos que incluyen el tipo de publicación y el idioma, las características de los resultados de los artículos, los países, las categorías temáticas y las revistas y la distribución de las palabras del título, las palabras clave del autor y la palabra clave más utilizada.

1.2.4 Características

Cualidad o circunstancia que es propia de una persona o cosa y sirve para distinguir de los de su misma u otra especie, es un adjetivo de cualidad, dada la definición por el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española.

Las características de los lodos de PTARs dependen de la calidad de las aguas residuales y del tipo de procesos de tratamiento seguidos. El volumen que se produce de lodos residuales depende en gran medida de los tipos del agua residual, tratamiento previo, tiempo de sedimentación, densidad de sólidos, contenido de agua y del tipo de método de remoción de lodos, como a continuación se describe (Singh et al. 2008; Kartal et al. 2010).

1.2.4.1 Tratamiento de aguas residuales municipales

Las aguas residuales están constituidas por dos componentes, uno líquido (agua) y otro sólido, conocido como lodo residual ó biosólido. Tradicionalmente hay 3 formas en las que generalmente se tratan las aguas residuales; una física, química y biológica. (Qian et al., 2016; Sillanpää et al., 2018).

La Física, consiste en dejar que las aguas residuales decanten o se asienten en el fondo de los estanques y con ello permitir que todos los materiales solidos sean depositados en el fondo.

La Química, consiste en tratar el agua decantada con algunas sustancias química para la eliminación otra cantidad de componentes contaminantes que se encuentren en el agua.

La Biológica, consiste en el uso de microorganismos (Lodos Activados) que consumen la materia presente, eliminando así los contaminantes del agua residual.

En general, un esquema de tren de tratamiento para plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo municipal, como se muestra en la Figura 3 y que se describe a continuación.



Figura 3. Tren de tratamiento para aguas residuales municipales
<https://quizizz.com/admin/quiz/5dc0ae385fc2af001cfa75d8/tratamiento-de-aguas-residuales>

1.2.4.1.2 Pretratamiento.

En este paso se hace una remoción física toda la materia de gran tamaño, tales como piedras, arena, etc.

1.2.4.1.3 Tratamiento primario.

Mediante procesos fisicoquímicos elimina contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Sedimentación por gravedad de partículas sólidas).

1.2.4.1.4 Tratamiento secundario.

Por medio de procesos biológicos elimina elementos orgánicos, (usando lodos activados o filtros de goteo fomentando el crecimiento de microorganismos)

1.2.4.1.5 Tratamiento terciario.

Tratamiento químico para eliminación de material inorgánico (Desinfección).

En este sentido se denominan lodos primarios a los lodos que resultan del tratamiento primario de aguas residuales, es decir de la decantación primaria, estos consisten en productos no disueltos de las aguas residuales que como se mencionó con anterioridad poseen características de acuerdo con el tipo de caudal del que provienen las aguas, para este caso y centrándonos en las aguas residuales de origen municipal, encontramos que se componen de cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, algunos plásticos, etc.

En el tratamiento de agua también podemos encontrar a los lodos secundarios hacen referencia al lodo retirado del tratamiento biológico (Lin *et al.*, 2018a), el lodo proveniente del tratamiento secundario de aguas también se le denomina lodo activado y se compone de una mezcla de microorganismos y sólidos en suspensión (Lares *et al.*, 2018) . También encontramos a los lodos mixtos que son aquellos que se refieren a la mezcla de ambos lodos (primarios y secundarios). Finalmente llegamos a los lodos terciarios, que se obtienen a través de procesos de tratamientos posteriores, como por ejemplo con la adición de sustancias químicas que aglutinan sólidos en suspensión en el agua, dando como resultado su precipitación.

1.2.4.2 Lodos por su composición química

En la literatura también se halla que se obtienen características de lodos por su composición química, es decir de índole orgánica e inorgánica. Los lodos con composición orgánica están caracterizados por constituirse de materiales orgánicos como lípidos, proteína y carbohidratos, caso contrario a los lodos inorgánicos que se componen de sales inorgánicas y metales pesados.

1.2.5 Atributos

Cualidad propia del ser, se refiere al conjunto de características únicas que diferencia el ser.

Capítulo 2. Metodología

En la Figura 4, se muestra el desarrollo metodológico para llevar a cabo la siguiente investigación, “Estudio de categorías, características y atributos en la tendencia en investigación científica sobre lodos residuales en PTAR’s de origen municipal”, que es la metodología propuesta por (Antonio-Macedo, 2022)

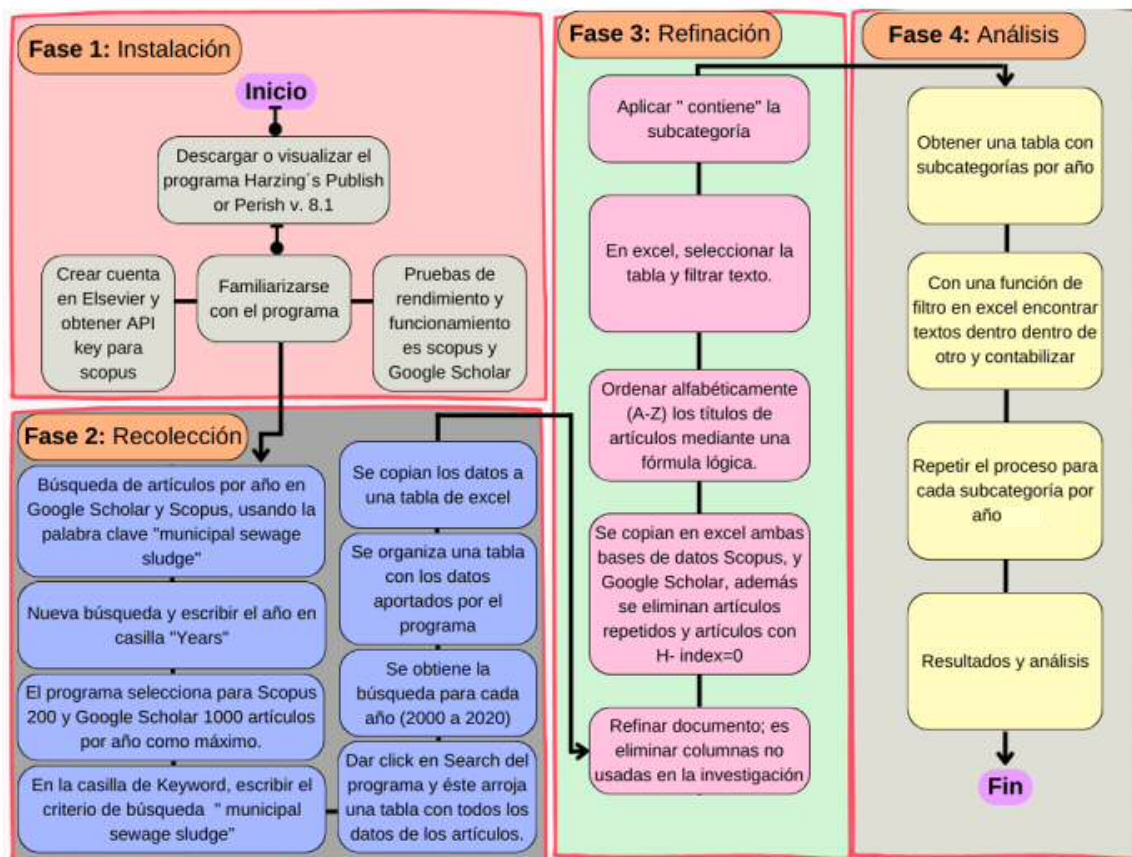


Figura 4. Diagrama metodológico propuesto por (Antonio-Macedo, 2022)

2.1 Fase 1. Instalación

En la primera fase tenemos como primer punto la descarga del programa Harzing's Publish or Perish el cual para este trabajo fue la versión Harzing's Publish or Perish

V. 8.8.4275 que se encuentra disponible en <https://harzing.com/resources/publish-or-perish/windows>, posterior a la descarga procedemos con la instalación tal y como nos lo indica (Harzing, 2007), para poder acceder a las bases de datos que maneja Harzing es necesaria la creación de una cuenta en el servidor Elsevier y por consiguiente solicitar una API Key en dicho servidor.

Para comenzar a utilizar el programa Publish or Perish nos solicitaran el API key que solo tenemos que copiar y pegar de un servidor a otro.

Como punto final de esta fase es necesario realizar pruebas de búsqueda, el programa Publish or Perish nos permite realizar las búsquedas ya sea por autor, nombre de la publicación, título, o palabras clave, por lo tanto, rellenaremos los parámetros en los que queremos centrarnos y automáticamente el programa nos arrojará los datos correspondientes a esos parámetros de búsqueda. Es necesario recalcar que el programa se encuentra en el idioma inglés, por lo que todos los parámetros deberán ser escritos en dicho idioma.

2.2 Fase 2. Recolección

Posterior a la instalación y a las pruebas, entramos en la etapa de recolección, en este sentido colocaremos en el recuadro de keywords **“Municipal Sewage sludge”**, haciendo énfasis en los años 2000–2020 y utilizando las bases de datos de Scopus y Google Scholar.

Entonces, seleccionamos la base de datos con la que queremos trabajar, rellenamos los parámetros solicitados, para este estudio solo rellenaremos el de palabra clave y año, debido a que para este trabajo es necesario obtener los datos por año, en el parámetro de año colocaremos el mismo año en las dos casillas, por ejemplo, para el año 2000 colocaremos en ambas casillas 2000–2000 y así sucesivamente con todos los años en el periodo que comprende de 2000–2020.

El programa nos arrojará los artículos resultantes a esos parámetros en esta parte nos permitirá redirigirnos al vínculo del artículo dando click derecho a algún título de artículo y seleccionando la opción **“open article in browser”**, también Publish or Perish nos lanzara un apartado con métricas de citación en el cual encontraremos publicaciones por año, citas por año, número total de artículos, índice h, índice g, etc.

Posteriormente para cada año, exportaremos todos los datos a Excel.

Dando clic al gatillo izquierdo sobre la columna citas, el menú nos arroja también la opción **“Copy result” → “For Excel with Header” (copiar resultados para Excel con encabezado)**, exportaremos todos los datos a Excel por año, colocando los datos de ambas bases por año en hojas de Excel separadas.

Solo para motivos de este trabajo se colocará primero la información obtenida de la base de datos Scopus y después la obtenida de la base de datos Google Scholar, para facilitar la refinación de datos.

2.3 Fase 3. Refinación

Después de haber exportado todos los datos de las dos bases de datos a trabajar, comenzamos con la depuración, primero eliminamos las columnas que no deseemos utilizar quedándonos solamente con citas, autor, título, año y revista, y ordenaremos alfabéticamente de A a Z todos los artículos con referencia al título.

A continuación, eliminaremos los artículos repetidos, haciendo uso de la formula **lógica =SI(Ax=Ax,“REPETIDO”)**, en otra hoja de Excel se llevó a cabo la eliminación de los artículos de uno a uno con lo que al final se tienen los artículos ya filtrados, es decir se eliminaran los títulos repetidos que pertenezcan a la base Google Scholar., esto con la finalidad de dejar los de Scopus ya que se considera una base de datos más confiable.

Se repite lo mismo para cada año.

Después a partir de los títulos y los resúmenes de artículos se determinan las categorías y subcategorías.

2.4 Fase 4. Análisis.

Después de definir las categorías, unificamos en un libro nuevo de Excel todos los datos anteriormente filtrados en una sola hoja, de modo que tengamos todos los artículos de cada año en una sola hoja de Excel como se muestra en la Tabla 1, para posteriormente filtrar por categoría.

| Cites | Author | Title | Year | Source |
|--|--------|-------|------|--------|
| Datos correspondientes al año 2000 | | | 2000 | |
| Datos correspondientes al año 2001 | | | 2001 | |
| Datos correspondientes a los años que comprenden al periodo de 2000–2020 ordenados de manera sucesiva. | | | 2002 | |
| | | | 2020 | |

Tabla 1. Ejemplo de unificación de datos en Excel obtenidos para todos los residuales municipales en el periodo 2000–2020 (elaboración propia).

Unificando los datos como se mostró anteriormente asignamos una hoja de Excel para cada categoría, dándoles orden alfabético de A a Z, para obtener una mejor sistematización.

Una vez filtradas todas las categorías continuaremos con la realización de gráficas para analizar las categorías, características y atributos en la tendencia de investigación sobre lodos residuales.

Capítulo 3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en la investigación sobre el “Estudio de categorías, características y atributos en la tendencia en investigación científica sobre lodos residuales en PTAR’s de origen municipal” en relación con la Fase 1. Instalación: como primer resultado se realizó y obtuvo la descarga del programa Harzing’s Publish or Perish el cual para este trabajo fue la versión Harzing’s Publish or Perish V. 8.8.4275 que se encuentra disponible en <https://harzing.com/resources/publish-or-perish/windows>, posteriormente a la descarga se procedió con la instalación tal como lo indica (Harzing, 2007). Un caso para los resultados y su familiarización con el programa se presentan en la Figura 5.

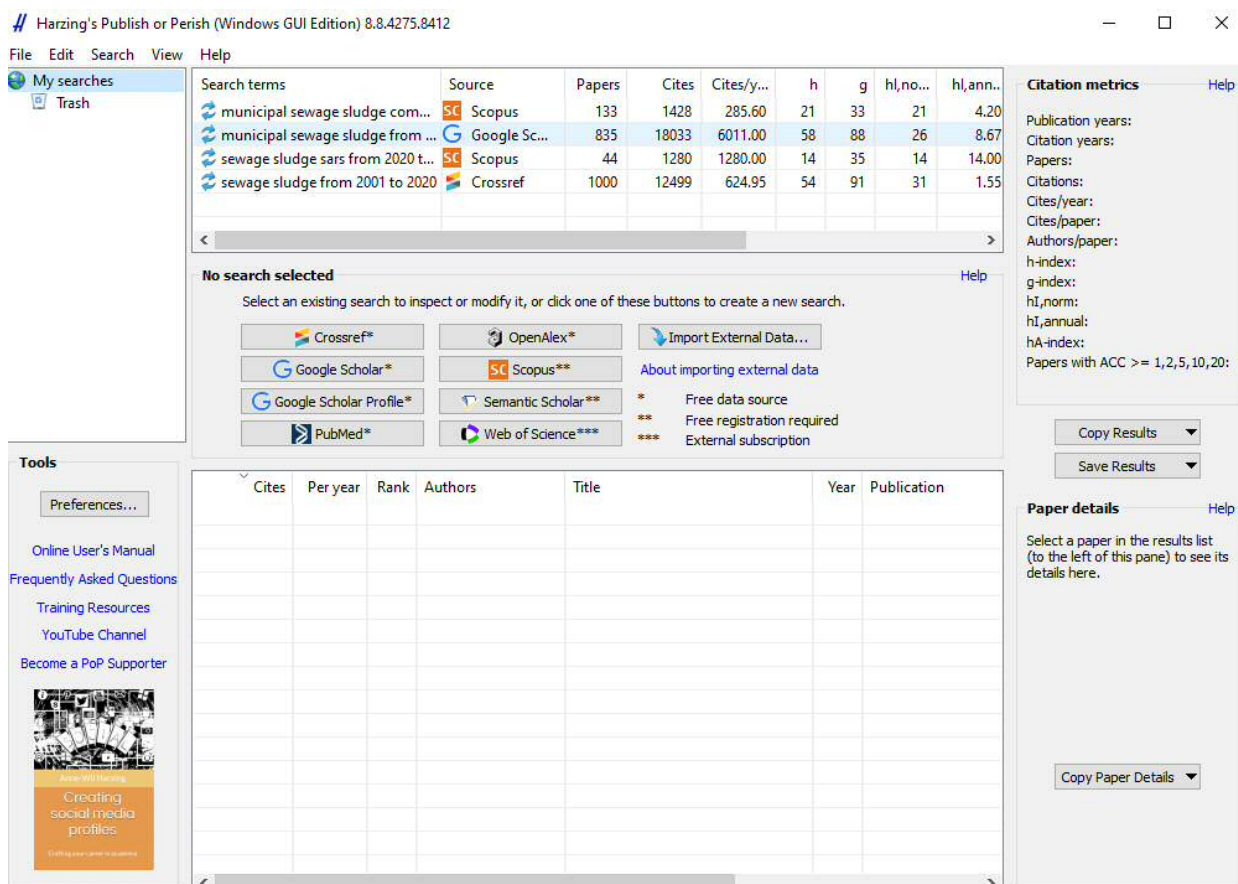


Figura 5. Página principal de Harzing.

En la Figura 5, se muestran las bases de datos al centro, en la parte superior derecha se presentan los indicadores de las publicaciones y en la parte central superior se encontrarán el historial de la búsqueda de artículos.

A continuación, se debe crear una cuenta API, particular para cada investigador; la cual, se usa para hacer una búsqueda en Scopus exclusivamente. Por otro lado, se puede realizar una búsqueda en Google Scholar en el programa Publish or Perish ya sea por autor, nombre de la publicación, título, o palabras clave, por lo tanto, se rellenan **los recuadros con las palabras clave “Municipal Sewage Sludge” (objeto de esta investigación)** y como resultados el programa nos arrojará los datos correspondientes a esos parámetros de búsqueda. En la Figura 6 y en la Figura 7 se muestra la familiarización, rendimiento y funcionamiento del programa Publish or Perish, para ambas bases utilizadas para este estudio (Scopus y Google Scholar).

The screenshot shows the Harzing's Publish or Perish (Windows GUI Edition) 8.8.4275.8412 interface. The main window displays search results for the query 'sewage sludge sars' in Scopus. The results table is as follows:

| Search terms | Source | Papers | Cites | Cites/y... | h | g | hI,no... | hI,ann... |
|-----------------------------------|--------------|--------|-------|------------|----|----|----------|-----------|
| municipal sewage sludge com... | Scopus | 133 | 1428 | 285.60 | 21 | 33 | 21 | 4.20 |
| municipal sewage sludge from ... | Google Sc... | 835 | 18033 | 6011.00 | 58 | 88 | 26 | 8.67 |
| sewage sludge sars from 2020 t... | Scopus | 44 | 1280 | 1280.00 | 14 | 35 | 14 | 14.00 |
| sewage sludge from 2001 to 2020 | Crossref | 1000 | 12499 | 624.95 | 54 | 91 | 31 | 1.55 |

The 'Citation metrics' sidebar on the right shows the following data:

- Publication years: 2020-2021
- Citation years: 1 (2020-2021)
- Papers: 44
- Citations: 1280
- Cites/year: 1280.00
- Cites/paper: 29.09
- Authors/paper: 1.00
- h-index: 14
- g-index: 35
- hI,norm: 14
- hI,annual: 14.00
- hA-index: 14
- Papers with ACC >= 1,2,5,10,20: 39,33,27,20,10

The 'Scopus search' section shows the search terms: 'sewage sludge sars' and the years: 2020 - 2021. The 'Tools' sidebar on the left includes options like 'Preferences...', 'Online User's Manual', 'Frequently Asked Questions', 'Training Resources', 'YouTube Channel', and 'Become a PoP Supporter'.

Figura 6. Programa de Publish or Perish con base de datos de Scopus.

Harzing's Publish or Perish (Windows GUI Edition) 8.8.4275.8412

File Edit Search View Help

My searches
Trash

| Search terms | Source | Papers | Cites | Cites/y... | h | g | h _i ,no... | h _i ,ann.. |
|-----------------------------------|--------------|--------|-------|------------|----|----|-----------------------|-----------------------|
| municipal sewage sludge com... | Scopus | 133 | 1428 | 285.60 | 21 | 33 | 21 | 4.20 |
| municipal sewage sludge from ... | Google Sc... | 835 | 18033 | 6011.00 | 58 | 88 | 26 | 8.67 |
| sewage sludge sars from 2020 t... | Scopus | 44 | 1280 | 1280.00 | 14 | 35 | 14 | 14.00 |
| sewage sludge from 2001 to 2020 | Crossref | 1000 | 12499 | 624.95 | 54 | 91 | 31 | 1.55 |

Google Scholar search

Authors: Years: 2020 - 2020

Publication name: ISSN:

Title words:

Keywords:

Maximum number of results: 1000 Include: CITATION records Patents

| | Cites | Per year | Rank | Authors | Title | Year | Publication |
|-------------------------------------|-------|----------|------|-------------------------|--------------------------------------|------|--------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 567 | 189.00 | 870 | J Peccia, A Zulli, D... | Measurement of SARS-CoV-2 RN... | 2020 | Nature ... |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 309 | 103.00 | 299 | Z Zhang, Y Chen | Effects of microplastics on waste... | 2020 | Chemical Engine |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 282 | 94.00 | 95 | N Gao, K Kamran, ... | Thermochemical conversion of s... | 2020 | Progress in Energ |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 187 | 62.33 | 2 | J Peccia, A Zulli, D... | SARS-CoV-2 RNA concentrations ... | 2020 | MedRxiv |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 169 | 56.33 | 966 | A Kumar, SR Sama... | Performance evaluation of anaer... | 2020 | Energy |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 164 | 54.67 | 900 | L Zhang, Y Xie, J Li... | An overlooked entry pathway of ... | 2020 | ... Science &Tech |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 160 | 53.33 | 527 | AB Outwater | Reuse of sludge and minor waste... | 2020 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 157 | 52.33 | 935 | H Wang, W Guo, ... | Sludge-derived biochar as effici... | 2020 | Applied Catalysis |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 150 | 50.00 | 911 | JA Okolie, S Nand... | A review on subcritical and super... | 2020 | ... and sustainabl |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 148 | 49.33 | 880 | PU Iyare, SK Ouki, ... | Microplastics removal in wastewa... | 2020 | Environmental Sc |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 137 | 45.67 | 700 | L Wei, F Zhu, Q Li,... | Development, current state and f... | 2020 | Environment ... |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 126 | 42.00 | 1 | C Rolsky, V Kelkar,... | Municipal sewage sludge as a so... | 2020 | Current Opinion |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 121 | 40.33 | 35 | MA Agoro, AO Ad... | Heavy metals in wastewater and s... | 2020 | Water |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 116 | 38.67 | 354 | W Fang, X Zhang, ... | Overview of key operation factors... | 2020 | Journal of ... |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 114 | 38.00 | 652 | FC Miller | Composting of municipal solid w... | 2020 | Microbiology of |
| <input checked="" type="checkbox"/> | h 112 | 37.33 | 33 | AP Bora, DP Guot... | Sewage sludge to bio-fuel: A revi... | 2020 | Fuel |

Citation metrics

Publication years: 2020-2020
Citation years: 3 (2020-2023)
Papers: 835
Citations: 18033
Cites/year: 6011.00
Cites/paper: 21.60
Authors/paper: 4.29
h-index: 58
g-index: 88
h_i,norm: 26
h_i,annual: 8.67
h_A-index: 28
Papers with ACC >= 1,2,5,10,20: 706,592,382,183,57

Copy Results
Save Results

Paper details

Select a paper in the results list (to the left of this pane) to see its details here.

Copy Paper Details

Figura 7. Programa de Publish or Perish con base de datos de Google Scholar

En la Fase 2. Recolección: Se realiza la búsqueda de artículos por año en Scopus y Google Scholar con las palabras clave **“Municipal Sewage Sludge”**. La búsqueda es por año ya que en Scopus el número máximo de artículos que arroja la búsqueda en dichas bases de datos es 200 y en Google Scholar es de 1000 artículos y en este sentido nos permite recopilar una mayor cantidad de datos de búsqueda con más artículos ya que no se limita a solo los que tengan impacto h, si no que permiten tener artículos publicados con baja o nula citación, de los cuales se borrarán para nuestra investigación aquellos con Índice h = 0.

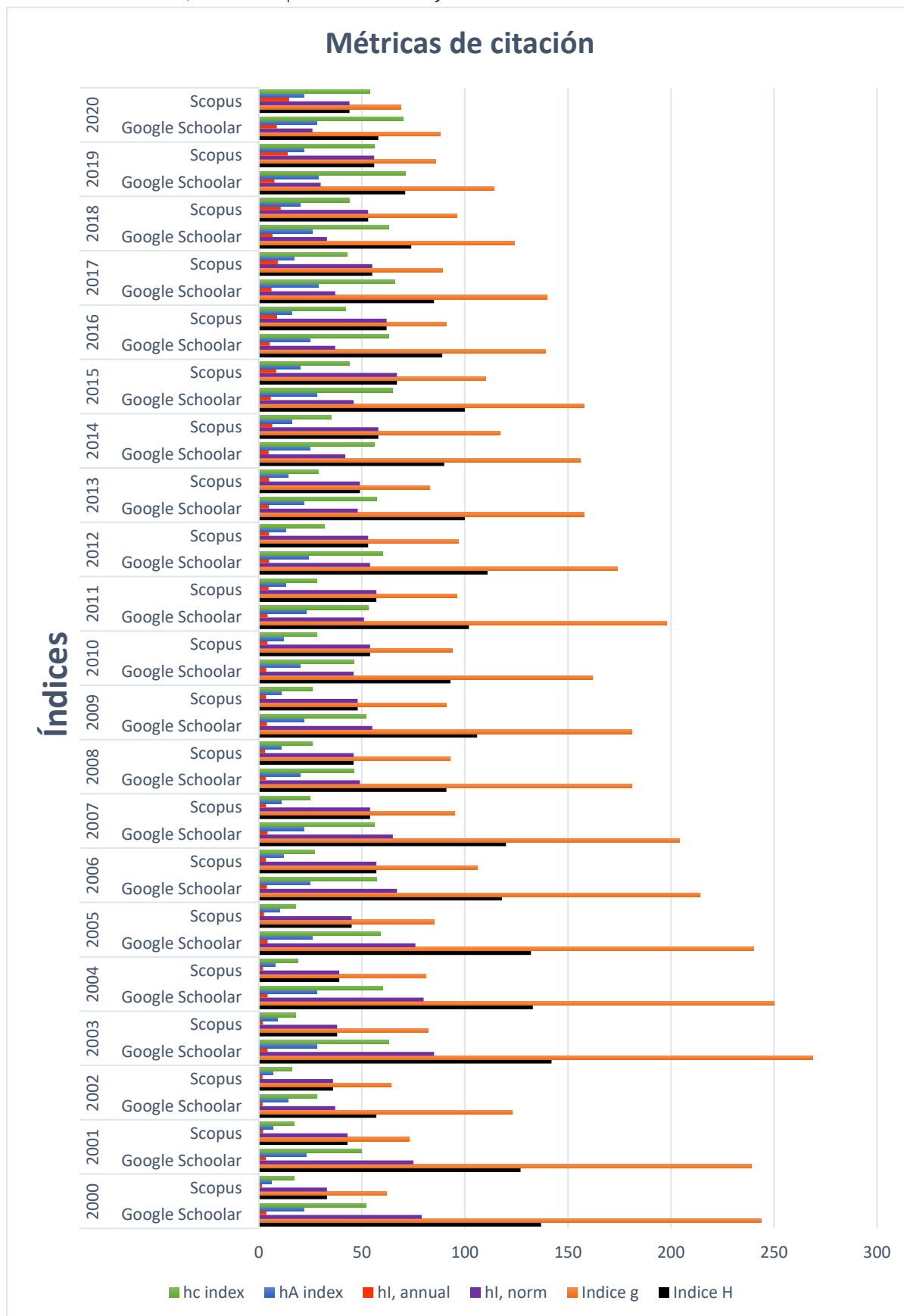
A continuación, se presenta la Tabla 2 y Figura 8, las cuales son representativas métricas de citación extraída de Harzing’s Publish or Perish para el periodo 2000–2020 con la palabra clave **“Municipal Sewage Sludge”**, esta tabla y figura nos muestran el impacto que han tenido los artículos en la comunidad científica en base a sus citas en el periodo antes mencionado.

| | | Indice h | Indice g | hl, norm | hl, annual | hA index | hc index | Citations | Cites/Year | Cites/Paper | Cites/Author | Papers/Author |
|------|-----|----------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------|------------|-------------|--------------|---------------|
| 2000 | GS | 137 | 244 | 79 | 3.59 | 22 | 52 | | | | | |
| | Sco | 33 | 62 | 33 | 1.5 | 6 | 17 | 4000 | 173.91 | 43.48 | 4000 | 90.99 |
| 2001 | GS | 127 | 239 | 75 | 3.41 | 23 | 50 | | | | | |
| | Sco | 43 | 73 | 43 | 1.95 | 7 | 17 | 5570 | 253.18 | 50.18 | 5570 | 109.99 |
| 2002 | GS | 57 | 123 | 37 | 1.76 | 14 | 28 | | | | | |
| | Sco | 36 | 64 | 36 | 1.71 | 7 | 16 | 4444 | 211.62 | 37.98 | 4444 | 114.99 |
| 2003 | GS | 142 | 269 | 85 | 4.25 | 28 | 63 | | | | | |
| | Sco | 38 | 82 | 38 | 1.9 | 9 | 18 | 6955 | 347.75 | 51.9 | 6948 | 129.99 |
| 2004 | GS | 133 | 250 | 80 | 4.21 | 28 | 60 | | | | | |
| | Sco | 39 | 81 | 39 | 2.05 | 8 | 19 | 6744 | 354.95 | 51.48 | 6744 | 128.99 |
| 2005 | GS | 132 | 240 | 76 | 4.22 | 26 | 59 | | | | | |
| | Sco | 45 | 85 | 45 | 2.5 | 10 | 18 | 7760 | 431.11 | 46.47 | 7760 | 167 |
| 2006 | GS | 118 | 214 | 67 | 3.94 | 25 | 57 | | | | | |
| | Sco | 57 | 106 | 57 | 3.35 | 12 | 27 | 12383 | 728.41 | 61.92 | 12383 | 200 |
| 2007 | GS | 120 | 204 | 65 | 4.06 | 22 | 56 | | | | | |
| | Sco | 54 | 95 | 54 | 3.38 | 11 | 25 | 10130 | 633.13 | 50.65 | 10130 | 200 |
| 2008 | GS | 91 | 181 | 49 | 3.27 | 20 | 46 | | | | | |
| | Sco | 46 | 93 | 46 | 3.07 | 11 | 26 | 9406 | 627.07 | 47.03 | 9406 | 200 |
| 2009 | GS | 106 | 181 | 55 | 3.93 | 22 | 52 | | | | | |
| | Sco | 48 | 91 | 48 | 3.43 | 11 | 26 | 9221 | 658.64 | 46.11 | 9221 | 200 |
| 2010 | GS | 93 | 162 | 46 | 3.54 | 20 | 46 | | | | | |
| | Sco | 54 | 94 | 54 | 4.15 | 12 | 28 | 10104 | 777.23 | 50.52 | 10104 | 200 |
| 2011 | GS | 102 | 198 | 51 | 4.25 | 23 | 53 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|----|-------|----|----|-------|---------|-------|-------|-----|
| | Sco | 57 | 96 | 57 | 4.75 | 13 | 28 | 10788 | 899 | 53.94 | 10788 | 200 |
| 2012 | GS | 111 | 174 | 54 | 4.91 | 24 | 60 | | | | | |
| | Sco | 53 | 97 | 53 | 4.82 | 13 | 32 | 10909 | 991.73 | 54.55 | 10909 | 200 |
| 2013 | GS | 100 | 158 | 48 | 4.8 | 22 | 57 | | | | | |
| | Sco | 49 | 83 | 49 | 4.9 | 14 | 29 | 8491 | 849.1 | 42.46 | 8491 | 200 |
| 2014 | GS | 90 | 156 | 42 | 4.67 | 25 | 56 | | | | | |
| | Sco | 58 | 117 | 58 | 6.44 | 16 | 35 | 15562 | 1729.11 | 77.81 | 15562 | 200 |
| 2015 | GS | 100 | 158 | 46 | 5.75 | 28 | 65 | | | | | |
| | Sco | 67 | 110 | 67 | 8.38 | 20 | 44 | 14701 | 1837.63 | 73.51 | 14701 | 200 |
| 2016 | GS | 89 | 139 | 37 | 5.29 | 25 | 63 | | | | | |
| | Sco | 62 | 91 | 62 | 8.86 | 16 | 42 | 11673 | 1667.57 | 58.37 | 11673 | 200 |
| 2017 | GS | 85 | 140 | 37 | 6.17 | 29 | 66 | | | | | |
| | Sco | 55 | 89 | 55 | 9.17 | 17 | 43 | 10999 | 1833.17 | 55 | 10999 | 200 |
| 2018 | GS | 74 | 124 | 33 | 6.6 | 26 | 63 | | | | | |
| | Sco | 53 | 96 | 53 | 10.6 | 20 | 44 | 12138 | 2427.6 | 60.69 | 12138 | 200 |
| 2019 | GS | 71 | 114 | 30 | 7.5 | 29 | 71 | | | | | |
| | Sco | 56 | 86 | 56 | 14 | 22 | 56 | 10818 | 2704.5 | 54.09 | 10818 | 200 |
| 2020 | GS | 58 | 88 | 26 | 8.67 | 28 | 70 | | | | | |
| | Sco | 44 | 69 | 44 | 14.67 | 22 | 54 | 7923 | 2641 | 39.62 | 7923 | 200 |

Tabla 2. Métricas de citación correspondientes al periodo 2000–2020 para la palabra clave **“Municipal Sewage Sludge”**. Base de datos Scopus (Sco) y Google Scholar (GS)

Figura 8. Gráfico de índice h, índice g, índice hl normal, índice hl anual, índice hA e índice hc, con respecto al año y base de datos.



En la Figura 8, se obtiene una gráfica de la primera parte de las métricas de citación, esto con el propósito de que se pueda apreciar de una manera más clara la comparativa de todos los índices con respecto a los años que van desde 2000 a 2020 y a la base de datos. Cabe subrayar que los índices más representativos en la gráfica son los de índice h e índice g, lo que no es sorprendente ya que las demás métricas se tratan de promedios del índice h, por lo que es correcto que no sobrepasen al índice h y g. En la Figura 8a, se muestra el índice h para ambas bases de datos (Scopus y Google Scholar), que van desde los valores de 33 como mínima para 2000 a máximo 67 para 2015 para Scopus y de 57 como mínimo para 2002 y 142 como máximo para 2003 en la base Google Scholar. Se observa que para Scopus 11 de los 21 años analizados sobrepasan el promedio (50), cabe destacar que la última década fue la más productiva para Scopus ya que la tendencia que siguen los datos ha aumentado a lo largo del periodo, resaltando los años 2015 y 2016 con 67 y 62 de índice h al año mientras que el resto del tiempo se mantuvo en un promedio de índice h de 50 al año. Para Google Scholar se observa que solo 10 de los 21 años analizados sobrepasan el promedio (102), además se observa que la tendencia es decreciente al pasar de los años, por lo que la primera década fue la más productiva destacándose los años 2000 y 2003 con los índices h más altos con 137 y 142 al año respectivamente.

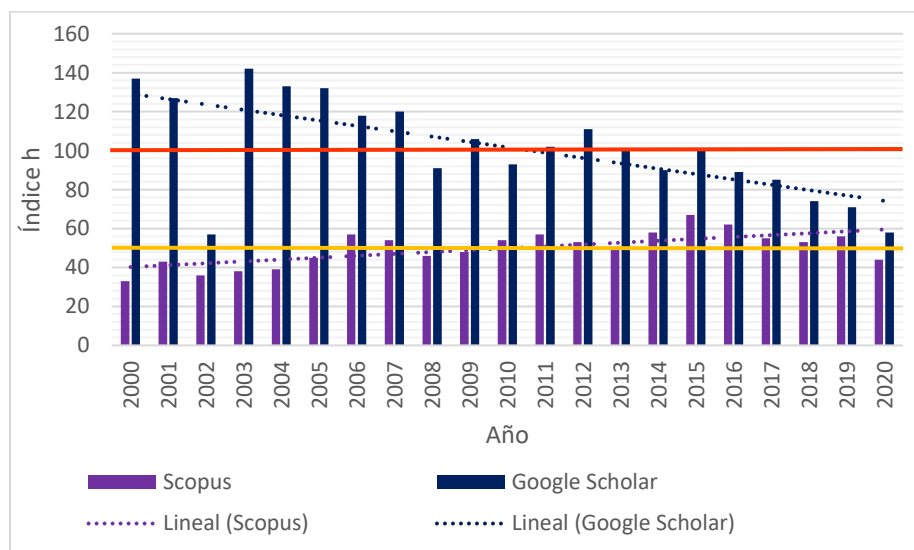


Figura 8a. Gráfica índice h vs año, con promedio ■ para Scopus y ■ para Google Scholar, con palabra clave “Municipal Sewage Sludge”

En la Figura 8b, la gráfica de índice g para las bases de datos Scopus y Google Scholar, muestra que este índice g a diferencia del índice h, nos dice la cantidad de citas acumuladas que tienen varios artículos de un autor, es decir, que los artículos clasificados en orden decreciente del número de citas que recibieron, el índice g es el número (único) más grande tal que los g artículos principales recibieron (juntos) al menos g^2 citas según Harzing, (2007). Se observa al igual que en la gráfica de índice h, que la tendencia para Scopus va en aumento a lo largo del periodo, mientras que para Google Scholar decrece en los últimos años, que puede ser como consecuencia de la baja investigación sobre todos residuales en los últimos años.

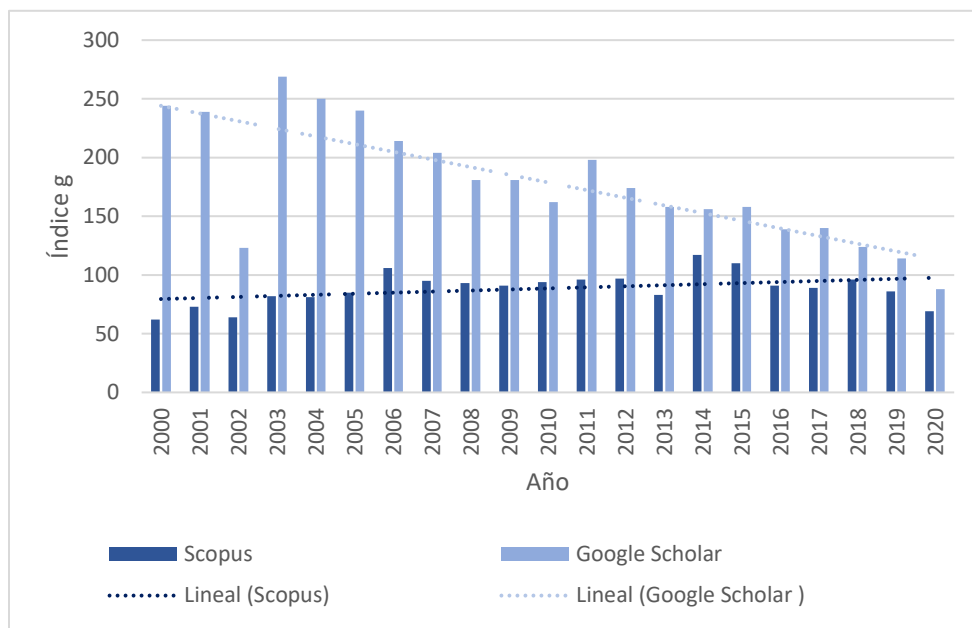


Figura 8b. Índice g por año con base de datos Scopus y Google Scholar para la **palabra clave “Municipal Sewage Sludge”**

Posteriormente ya que se tienen todas las búsquedas por año individualmente y en ambas bases de datos, se procede a exportar a Excel la información, en el modelo metodológico propuesto por (Antonio-Macedo, 2022) nos dice que se eliminan los artículos con citas igual a 0 en la Fase 3, pero como sugerencia a su metodología, se propone que se agregue este paso a la Fase 2 siendo que el programa ya lo facilita como se muestra en la Figura 9.

Dando clic al gatillo izquierdo sobre la columna citas nos despliega un menú con varias opciones entre las que se encuentra “Desmarcar 0 citas” o en su defecto podemos hacer uso del comando “Ctrl+0”, de esta manera se elimina los artículos con un numero de citas igual a 0, porque estos artículos no tienen impacto aún en las investigaciones, posterior a ello podemos proceder a exportar los datos a Excel de la misma manera, como se muestra en la Figura 10.

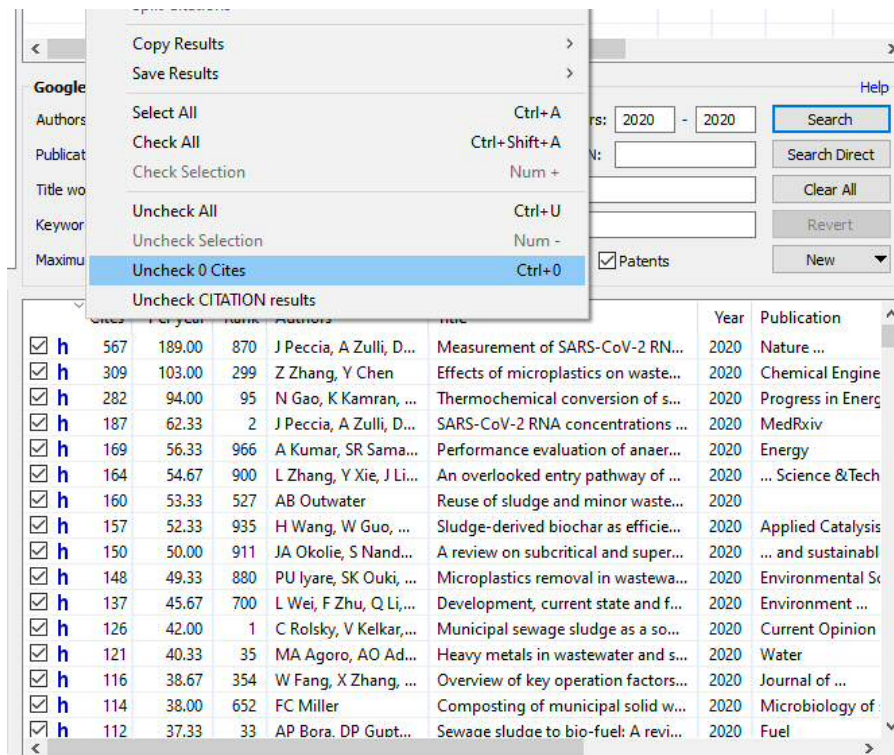


Figura 9. Desmarcar 0 citas.

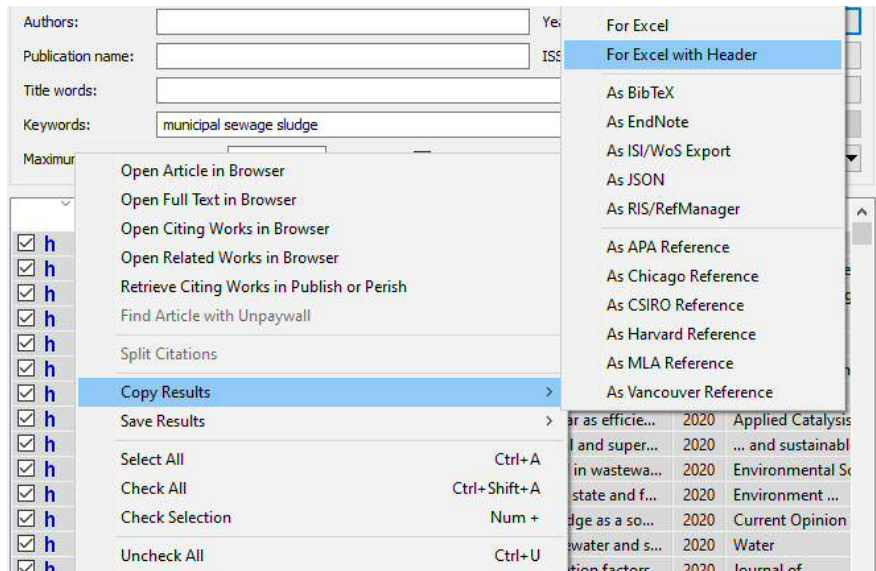


Figura 10. Exportar resultados a Excel.

Como siguiente paso se copiaron los datos a un libro de Excel, en el que se eliminan las columnas con los encabezados que no se utilizarán para el estudio, en la Figura 11, se presenta el resultado de la exportación a Excel y los encabezados de citas (Cites), autor (Authors), título (Title), año (Year) y fuente (Source) que son los que se utilizaron en este trabajo.

| | A | B | C | D | E |
|----|-------|----------------|--|------|---|
| 1 | Cites | Authors | Title | Year | Source |
| 2 | 567 | J Peccia, A Zi | Measurement of SARS-CoV-2 RNA in w | 2020 | Nature ... |
| 3 | 309 | Z Zhang, Y Ch | Effects of microplastics on wastewater | 2020 | Chemical Engineering Journal |
| 4 | 282 | N Gao, K Kan | Thermochemical conversion of sewage | 2020 | Progress in Energy and ... |
| 5 | 187 | J Peccia, A Zi | SARS-CoV-2 RNA concentrations in pri | 2020 | MedRxiv |
| 6 | 169 | A Kumar, SR | Performance evaluation of anaerobic c | 2020 | Energy |
| 7 | 164 | L Zhang, Y Xi | An overlooked entry pathway of micro | 2020 | ... Science &Technology |
| 8 | 160 | AB Outwater | Reuse of sludge and minor wastewater | 2020 | |
| 9 | 157 | H Wang, W G | Sludge-derived biochar as efficient per | 2020 | Applied Catalysis B ... |
| 10 | 150 | JA Okolie, S I | A review on subcritical and supercritica | 2020 | ... and sustainable energy ... |
| 11 | 148 | PU Iyare, SK | Microplastics removal in wastewater tr | 2020 | Environmental Science: Water Research ... |
| 12 | 137 | L Wei, F Zhu, | Development, current state and future | 2020 | Environment ... |
| 13 | 126 | C Rolsky, V K | Municipal sewage sludge as a source o | 2020 | Current Opinion in ... |

Figura 11. Datos exportados a Excel con encabezado.

A continuación se eliminan los artículos repetidos, en la metodología de (Antonio-Macedo, 2022) hace uso de la fórmula lógica =SI(Ax=Ax,"REPETIDO"), dado que no es muy claro cómo hacer uso de esta fórmula, podemos utilizar otro método que puede sustituir a este modelo matemático y que además elimina los duplicados sin tener que eliminar uno por uno, por lo que se propone lo siguiente: Seleccionamos todas las columnas (citas, autor, título, año y fuente) → seleccionar la pestaña "insertar" → "Tabla" → "Aceptar" → Pestaña "Diseño de Tabla" → nos vamos al apartado de Herramientas y seleccionamos → "Quitar duplicados", nos aparecerá un recuadro de dialogo, seleccionamos el recuadro "Anular selección" → marcamos la opción "Title" y damos click en aceptar, automáticamente eliminará los títulos repetidos como se muestra en la Figura 12 y Figura 13. Como se mencionó en la Fase 2, al colocar primero la información de Scopus y después la de Google Scholar, el comando para eliminar títulos repetidos eliminará los títulos que pertenezcan a la base Google Scholar., esto con la finalidad de dejar los de Scopus ya que se considera una base de datos más confiable.

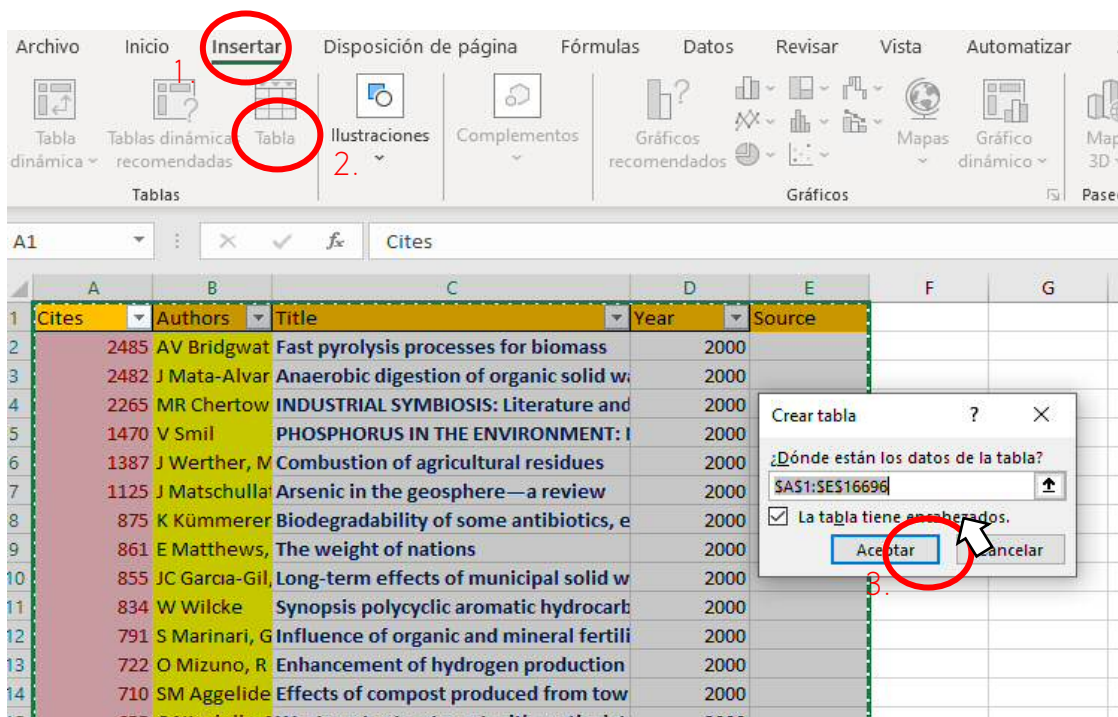


Figura 12. Creación de tabla con todos los valores (citas, autor, título, año y fuente).

En otro estudio analizaron la ocurrencia de aparición de micro plásticos (Gatidou et al. 2019) obtenidos después del pretratamiento para la eliminación del contenido orgánico e inorgánico de aguas residuales.

Como lo mencionó Li et al., (2018) en su investigación hacen referencia a las formas de eliminación de lodos residuales y como estas pueden considerarse un riesgo para la salud, mientras que autores (Vergine *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2018), sugieren tecnologías que ayuden en la eliminación de contaminantes orgánicos acuosos (Lei *et al.*, 2018), tales como adsorción, fotólisis, oxidación química y biodegradación (Kang et al., 2018).

Autores (Záleská et al., 2018; Wang et al., 2018) abordan temas importantes relacionados con biomasa resultante de tratamiento en lodos, con el fin de proponer este elemento como base para la producción de biocombustibles y compuestos de cemento. También (Lin et al., 2018; **Świerczek et al. 2018**) hacen mención que los lodos de PTARs pueden utilizarse como fuente de energía, esto para procesos de digestión anaeróbica (Tyagi *et al.*, 2018), tratamiento térmico, etc., de igual forma pueden tratarse y utilizarse en el ámbito agrícola como fertilizante (Arrigoni *et al.*, 2018) y acondicionador del suelo (Gunarathne et al., 2020) como por ejemplo compost, o incluso utilizarse como fuente para extraer compuestos valiosos como lo es para el caso de recuperación de fósforo.

En este sentido en varios artículos se identificaron palabras clave que en este caso nos sirven como punto de partida para proponer categorías, discerniendo entre sí podría considerarse una categoría o una subcategoría.

Así pues, en base a estos criterios de búsqueda obtuvimos 44 palabras clave entre las que se encuentran, biodegradación, compost, digestión, energía, fertilizantes, aerobia, metales pesados, etc., que se subcategorizaron en 12 categorías con base en su relación entre ellas, y por su caracterización, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Categorías de investigación y su descripción (Antonio-Macedo, 2022)

| Categoría | Descripción | Referencia |
|-------------------------|---|---|
| Chemo-enzymatic 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, 2001; Alvarez Garcia, 2009; Marques <i>et al.</i> , 2011; Y.-F. Huang <i>et al.</i> , 2020) |
| Degradation | Es una descomposición orgánica, en la que los materiales se transforman en sustancias más simples. | (Leung <i>et al.</i> , 2000; Torres, 2003; Alvarenga <i>et al.</i> , 2007; Alvarez <i>et al.</i> , 2016; Qin <i>et al.</i> , 2020; Tong <i>et al.</i> , 2020) |
| Distribution | La relación que existe entre la producción y el destino, es decir, seguir una ruta. | (Öberg <i>et al.</i> 2002; Tandukar <i>et al.</i> , 2005; Zeng <i>et al.</i> , 2010; Carbonell <i>et al.</i> , 2011; Xie <i>et al.</i> , 2011) |
| 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 and Mathiasson, 2009; Choi <i>et al.</i> , 2014; Peng <i>et al.</i> , 2016; Li <i>et al.</i> , 2020; Xia <i>et al.</i> , 2020; Zhang and Chen, 2020; Regitano <i>et al.</i> , 2022) |
| Generation | Producción o consecuencia, tal como; generación de reactores de | (Tandukar <i>et al.</i> , 2005; Araujo Junior <i>et al.</i> , 2013; Liang <i>et al.</i> |

| | | |
|------------------|--|--|
| | <p>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.</p> | <p>2016; Rodríguez-Sánchez et al., 2016; Wang et al., 2020; Barrón Hernández et al., 2022; Sedighi et al., 2022)</p> |
| Land | <p>Se refiere a la superficie de la corteza terrestre, compuesta de materia mineral y orgánica sobre la cual crecen las plantas o está destinada al cultivo, el cual utiliza fertilizantes y puede contaminarse por actividad antropogénica y natural.</p> | <p>(Theodoratos et al., 2000; Rahube et al., 2014; Lamastra et al. 2018; Xiong et al., 2018; Yan et al. 2021)</p> |
| Organic material | <p>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.</p> | <p>(Simonich <i>et al.</i>, 2000; Thornton <i>et al.</i>, 2000; Julca-Otiniano <i>et al.</i>, 2006; Hemmat <i>et al.</i>, 2010a; Ding <i>et al.</i>, 2019; Rezaee <i>et al.</i>, 2019)</p> |
| Perspective | <p>Consiste en representar a expectativas de un estudio, es abordar tendencias y proyecciones futuras. Analiza los casos pasados y actuales para</p> | <p>(Oberberger, 1998; de Bere, 2000; Loayssa Lara et al. 2011; Molino et al. 2016; Zheng et al., 2018; Ghorbani et al. 2021; Yan et al. 2021)</p> |

| | | |
|------------|--|--|
| | <p>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.</p> | |
| Regulation | <p>Parte legal que atiende la síntesis de normativa y deja precisamente en las normas técnicas y otras la aclaración de los procesos, datos y fórmulas que complementan la seguridad y operación.</p> | <p>(Körner et al., 2000; Cenni et al., 2001; Vidrine, 2008; Kelessidis et al. 2012; Cimochowicz-Rybicka, 2013; Christodoulou et al. 2016; Turek et al., 2018)</p> |
| Risk | <p>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.</p> | <p>(Hale et al. 2003; Wang et al. 2007; Nazari et al., 2017; Zhao et al., 2017; Yang et al. 20200; Dereli et al. 2021; Giannakis et al., 2021)</p> |
| Treatment | <p>Procesos mecánicos, biológicos y químicos de tratamiento que contienen gran cantidad de materia orgánica, inorgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua.</p> | <p>(Wang et al., 2003; Ferge et al., 2004; Cofie et al., 2006; QIAN et al., 2006; Ramírez et al., 2008; Crane et al., 2010; Chen et al., 2014; Kwon et al., 2018; Ma et al., 2021)</p> |

| | | |
|-------|--|---|
| Waste | Consiste en materia obtenida en los sistemas de tratamiento de aguas residuales conocida como lodos residuales o biosólidos. | (Yang et al., 2007; Hemmat et al., 2010b; Rashed et al., 2010; Wang et al. 2019; Chen et al., 2021) |
|-------|--|---|

Para este proceso como ya se mencionó se realizó una revisión en una de las secciones del artículo, en este caso: título, lo que nos arrojó una extensa lista de criterios a considerar como subcategorías, por lo que se consideró el unificar criterios, es decir, cuando las subcategorías incluían menos de diez artículos, se añadían a la clasificación **“no categorizado”, generalizando el aporte como conocimiento diversificado; así, se definieron 44 subcategorías, como se muestra en la Tabla 4.**

Tabla 4. Categorías y subcategorías para lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

| Categorías | Subcategorías |
|---------------------------|--|
| 1.Chemo–enzymatic process | 1. Digestion 2. Digester 3. Stabilization |
| 2.Degradation | 4. Activated 5. Biodegradation 6. Aerobic 7. Anaerobic |
| 3.Distribution | 8. Disposition–Provision 9. Characteristics |
| 4.Entity | 10.Municipal 11.Production 12.Sustainability 13.Performance 14.Removal |
| 5.Generation | 15.Energy 16.Fuels 17.Combustion |
| 6.Land | 18. Soil 19. Fertilizer 20. Agricultural (land-farming) 21. Landfill |
| 7.Organic material | 22. Biomass 23. Bioreactor |
| 8.Perspective | 24. Future 25. State of the art 26. Leachate |
| 9.Regulation | 27. Legislation 28. Management |
| 10.Risk | 29. Toxicity 30. Emerging pollutants 31. Heavy metals 32. Effects |
| 11.Treatment | 33. Process 34. Incineration |

| | |
|--|---------------|
| | 35. Ash |
| | 36. Drying |
| | 37. Thermal |
| | 38. Sorption |
| | 39. Pyrolysis |

| | |
|-----------|-----------------|
| 12. Waste | 40. Using |
| | 41. Utilization |
| | 42. Compost |
| | 43. Application |
| | 44. Recovery |

A continuación, se determinaron 16,770 (búsqueda 20/01/2023) artículos manejándose en una hoja de cálculo de Excel. La diferencia en otra búsqueda con fecha diferente puede haber variación por la eliminación de artículos con h = 0, por eliminación de artículos duplicados en las bases de datos (Scopus y Google Scholar) también por referirse a una categoría “No categorizado”.

Para filtrar por categoría, se selecciona la columna “Title”, se dirige el puntero a las herramientas de acceso donde se selecciona “Formato condicional” → “Reglas para resaltar celdas” → “Texto que contiene” y aparece un recuadro de dialogo con la descripción “aplicar formato a las celdas que contengan el texto”, se rellena la celda que aparece en blanco con la categoría que se quiere filtrar, se selecciona la opción “Relleno rojo claro” y se da clic en “aceptar”. Se filtran los títulos que no tengan relleno, seleccionando la columna “Title” → “filtro” → “Filtrar por color” → “Sin relleno”. Después se seleccionan todos los datos que quedaron y se copian a la siguiente hoja de Excel que pertenece a la siguiente categoría. De este modo se repite para todas las categorías, como se muestra en la Figura 14.

| | | | | | | | |
|----|---------------|--|---------|--------------|-------------|-----|---|
| 95 | P Wang, N Xi | A pilot study of the treatment of waste r | 2000 | | | | |
| 95 | JH Hsu, SL Lo | Characterization and extractability of cop | 2000 | | | | |
| 94 | P Kosobucki, | Sewage sludge composting | 2000 | | | | |
| 93 | MN Mansour | Process for detoxifying waste materials b | 2000 | | | | |
| 93 | I Douglas, N | The human dimensions of geomorpholog | 2000 | | | | |
| 91 | R. Solaro | Biodegradation of poly(vinyl alcohol) wit | 2000 | | | | |
| 91 | J Corella, JM | Incineration of doped sludges in fluidize | 2000 | | | | |
| 91 | EW Alm, D Zi | The presence of humic substances and D | 2000 | | | | |
| 90 | JH Ahn, CF F | Kinetic analyses of the operation of meso | 2000 | | | | |
| 89 | MH Hinton | Infections and intoxications associated w | 2000 | | | | |
| | Activated | Anaerobic | Aerobic | Agricultural | Application | Ash | B |

Figura 14. Categorías filtradas en diferentes hojas de Excel

Tabla 5. Publicaciones por categorías y subcategorías al año

| 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 | Total |
|-------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Degradation | Activated | 40 | 39 | 12 | 58 | 44 | 52 | 48 | 45 | 23 | 33 | 35 | 57 | 53 | 43 | 55 | 54 | 47 | 48 | 35 | 37 | 45 | 903 |
| | Biodegradation | 15 | 11 | 4 | 9 | 7 | 9 | 10 | 6 | 4 | 7 | 5 | 7 | 7 | 8 | 3 | 8 | 1 | 6 | 3 | 5 | 7 | 142 |
| | Aerobic | 9 | 5 | 3 | 9 | 5 | 9 | 9 | 11 | 7 | 9 | 11 | 18 | 11 | 11 | 15 | 12 | 9 | 8 | 12 | 14 | 14 | 211 |
| | Anaerobic | 54 | 56 | 25 | 62 | 57 | 58 | 68 | 56 | 50 | 46 | 55 | 60 | 71 | 99 | 108 | 97 | 102 | 77 | 80 | 86 | 108 | 1475 |
| Organic material | Biomass | 7 | 4 | 1 | 11 | 10 | 14 | 8 | 12 | 9 | 8 | 8 | 12 | 25 | 18 | 14 | 17 | 24 | 19 | 21 | 18 | 25 | 285 |
| | Bioreactor | 4 | 5 | 0 | 5 | 4 | 11 | 18 | 11 | 11 | 6 | 6 | 6 | 4 | 2 | 12 | 3 | 9 | 8 | 9 | 6 | 2 | 142 |
| Chemo-enzymatic process | Digestion | 5 | 4 | 1 | 8 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | 10 | 10 | 13 | 16 | 15 | 19 | 22 | 24 | 19 | 14 | 213 |
| | Digester | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 31 |
| | Stabilization | 4 | 3 | 0 | 2 | 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 7 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 6 | 1 | 7 | 4 | 5 |
| Distribution | Disposition-Provision | 7 | 10 | 1 | 10 | 10 | 3 | 6 | 0 | 5 | 7 | 4 | 11 | 15 | 8 | 10 | 4 | 10 | 6 | 12 | 14 | 11 | 164 |
| | Characteristics | 13 | 11 | 2 | 11 | 18 | 10 | 16 | 9 | 11 | 29 | 19 | 42 | 31 | 26 | 20 | 30 | 26 | 43 | 36 | 38 | 26 | 467 |
| Generation | Energy | 10 | 5 | 1 | 9 | 6 | 10 | 3 | 10 | 9 | 12 | 12 | 22 | 26 | 23 | 15 | 19 | 25 | 19 | 33 | 35 | 29 | 333 |
| | Fuels | 2 | 5 | 1 | 4 | 5 | 8 | 4 | 7 | 3 | 6 | 9 | 14 | 11 | 14 | 17 | 11 | 8 | 12 | 16 | 9 | 14 | 180 |
| | Combustion | 5 | 12 | 7 | 10 | 13 | 3 | 9 | 8 | 8 | 12 | 14 | 11 | 10 | 20 | 12 | 12 | 12 | 12 | 26 | 16 | 10 | 242 |
| Perspective | Future | 3 | 4 | 0 | 2 | 2 | 5 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 | 4 | 40 |
| | State of the art | 2 | 2 | 0 | 5 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 34 |
| | Leachate | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 29 |
| Regulation | Legislation | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 11 |
| | Management | 18 | 15 | 2 | 14 | 17 | 15 | 9 | 16 | 11 | 4 | 7 | 14 | 8 | 13 | 8 | 12 | 12 | 10 | 7 | 14 | 9 | 235 |
| Entity | Municipal | 44 | 44 | 21 | 36 | 53 | 57 | 52 | 57 | 39 | 48 | 55 | 36 | 86 | 74 | 79 | 74 | 69 | 67 | 72 | 75 | 63 | 1201 |
| | Production | 20 | 14 | 7 | 12 | 20 | 16 | 16 | 13 | 15 | 12 | 21 | 28 | 21 | 25 | 20 | 24 | 24 | 34 | 25 | 33 | 33 | 433 |
| | Sustainability | 4 | 5 | 0 | 5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 | 6 | 2 | 4 | 52 |
| | Performance | 5 | 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 | 4 | 11 | 4 | 7 | 7 | 2 | 11 | 7 | 8 | 12 | 5 | 102 |
| | Removal | 8 | 7 | 2 | 9 | 12 | 10 | 9 | 11 | 1 | 3 | 6 | 16 | 12 | 7 | 13 | 7 | 10 | 10 | 11 | 18 | 18 | 200 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Land | Soil | 27 | 33 | 13 | 35 | 33 | 36 | 29 | 27 | 10 | 19 | 21 | 25 | 26 | 26 | 15 | 19 | 15 | 18 | 23 | 14 | 33 | 497 |
| | Fertilizer | 11 | 14 | 3 | 10 | 12 | 12 | 6 | 14 | 18 | 21 | 5 | 21 | 16 | 17 | 19 | 17 | 19 | 21 | 17 | 11 | 18 | 302 |
| | Agricultural (land-farming) | 19 | 13 | 4 | 18 | 12 | 11 | 18 | 15 | 9 | 15 | 15 | 14 | 12 | 11 | 12 | 24 | 18 | 18 | 18 | 17 | 16 | 309 |
| | Landfill | 38 | 22 | 7 | 28 | 22 | 25 | 20 | 27 | 9 | 9 | 15 | 18 | 7 | 7 | 21 | 13 | 12 | 14 | 8 | 13 | 10 | 345 |
| Risk | Toxicity | 9 | 6 | 0 | 2 | 8 | 7 | 4 | 2 | 5 | 9 | 2 | 7 | 4 | 4 | 10 | 6 | 7 | 6 | 4 | 5 | 3 | 110 |
| | Emerging pollutants | 16 | 16 | 3 | 11 | 18 | 6 | 4 | 9 | 5 | 3 | 4 | 3 | 12 | 8 | 5 | 8 | 5 | 7 | 5 | 11 | 2 | 161 |
| | Heavy metals | 28 | 50 | 17 | 46 | 29 | 32 | 41 | 27 | 28 | 38 | 28 | 30 | 44 | 41 | 39 | 39 | 34 | 50 | 36 | 31 | 32 | 740 |
| | Effects | 11 | 17 | 12 | 28 | 20 | 19 | 23 | 28 | 18 | 21 | 24 | 45 | 32 | 26 | 31 | 31 | 30 | 24 | 33 | 33 | 24 | 530 |
| Treatment | Process | 22 | 20 | 4 | 16 | 22 | 21 | 15 | 21 | 17 | 21 | 13 | 18 | 26 | 17 | 19 | 18 | 18 | 14 | 18 | 26 | 13 | 379 |
| | Incineration | 20 | 6 | 2 | 11 | 8 | 2 | 7 | 2 | 8 | 5 | 6 | 6 | 8 | 4 | 4 | 10 | 9 | 10 | 8 | 6 | 2 | 144 |
| | Ash | 12 | 14 | 6 | 20 | 12 | 16 | 21 | 19 | 24 | 36 | 24 | 30 | 29 | 36 | 29 | 38 | 44 | 48 | 59 | 53 | 61 | 631 |
| | Drying | 2 | 3 | 4 | 3 | 5 | 6 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 10 | 16 | 6 | 18 | 15 | 16 | 15 | 13 | 14 | 15 | 188 |
| | Thermal | 7 | 4 | 1 | 7 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 7 | 3 | 7 | 8 | 9 | 13 | 8 | 12 | 13 | 19 | 21 | 158 |
| | Sorption | 5 | 3 | 0 | 3 | 5 | 2 | 6 | 4 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 8 | 6 | 8 | 3 | 1 | 11 | 1 | 86 |
| | Pyrolysis | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 3 | 3 | 11 | 4 | 4 | 5 | 13 | 12 | 18 | 13 | 11 | 21 | 126 |
| Waste | Using | 28 | 16 | 2 | 19 | 24 | 21 | 13 | 21 | 13 | 14 | 11 | 24 | 17 | 23 | 10 | 17 | 21 | 15 | 15 | 16 | 28 | 368 |
| | Utilization | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 6 | 7 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 67 |
| | Compost | 49 | 60 | 21 | 49 | 61 | 53 | 46 | 66 | 50 | 64 | 69 | 81 | 55 | 48 | 56 | 49 | 67 | 57 | 53 | 53 | 68 | 1175 |
| | Application | 37 | 42 | 12 | 32 | 30 | 36 | 38 | 37 | 37 | 35 | 31 | 61 | 40 | 48 | 56 | 40 | 41 | 53 | 42 | 39 | 42 | 829 |
| | Recovery | 3 | 5 | 1 | 6 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 1 | 2 | 6 | 2 | 2 | 3 | 10 | 10 | 12 | 8 | 14 | 109 |
| Not Categorized | | 160 | 157 | 36 | 138 | 151 | 107 | 108 | 106 | 56 | 78 | 89 | 145 | 97 | 90 | 103 | 95 | 68 | 83 | 71 | 82 | 75 | 2095 |
| Different language to english | | 15 | 17 | 0 | 35 | 32 | 7 | 17 | 7 | 8 | 9 | 2 | 11 | 10 | 8 | 7 | 16 | 9 | 5 | 1 | 2 | 3 | 221 |
| Total | | 805 | 789 | 246 | 817 | 821 | 733 | 737 | 741 | 552 | 680 | 673 | 963 | 892 | 861 | 916 | 908 | 910 | 917 | 914 | 941 | 954 | 16770 |

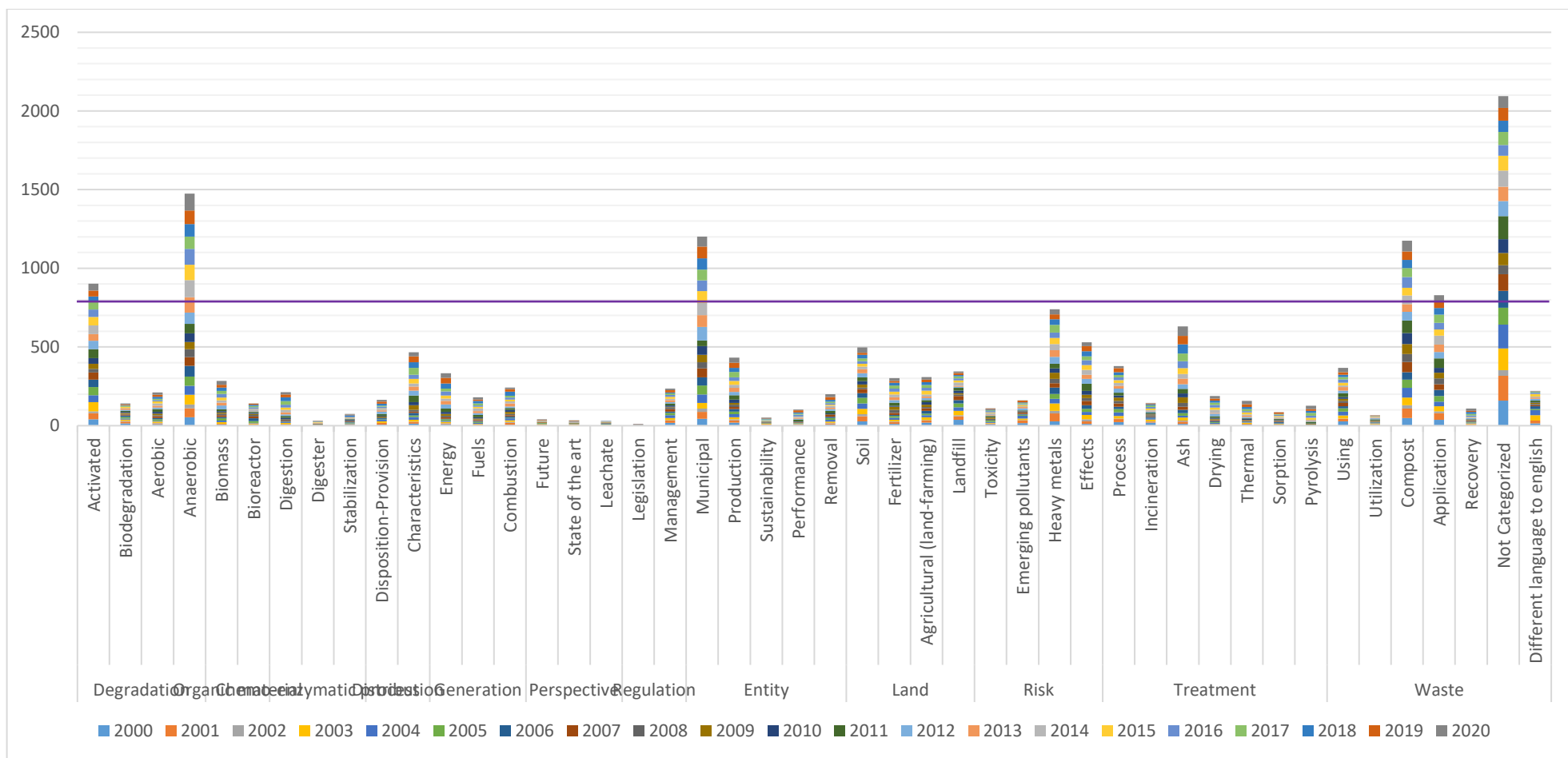


Figura 15. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre **Lodos Residuales de PTAR's de origen municipal** con un ■ promedio de 798.

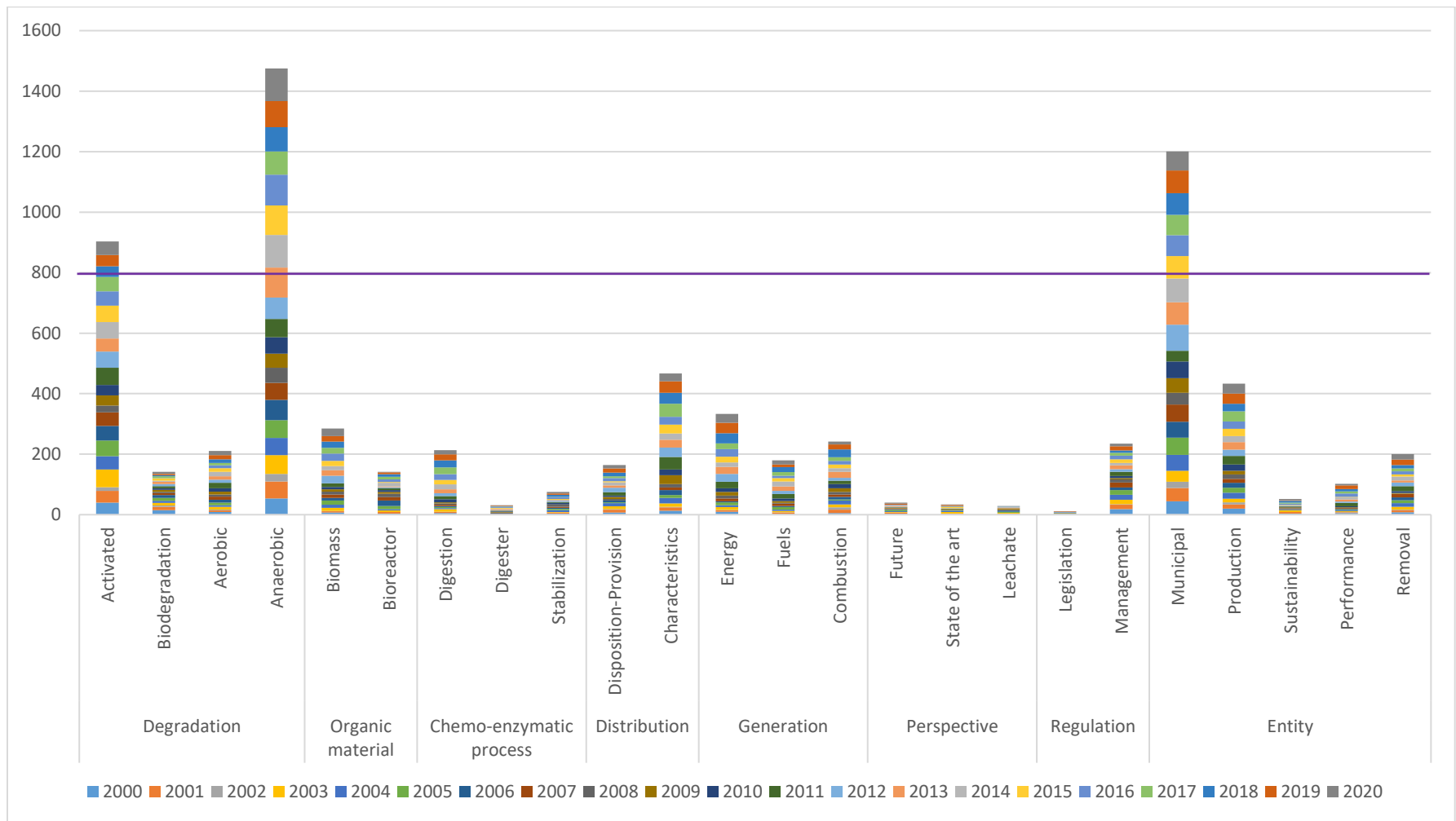


Figura 15a. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre Lodos Residuales de **PTAR's de origen municipal** con un ■ promedio de 798.

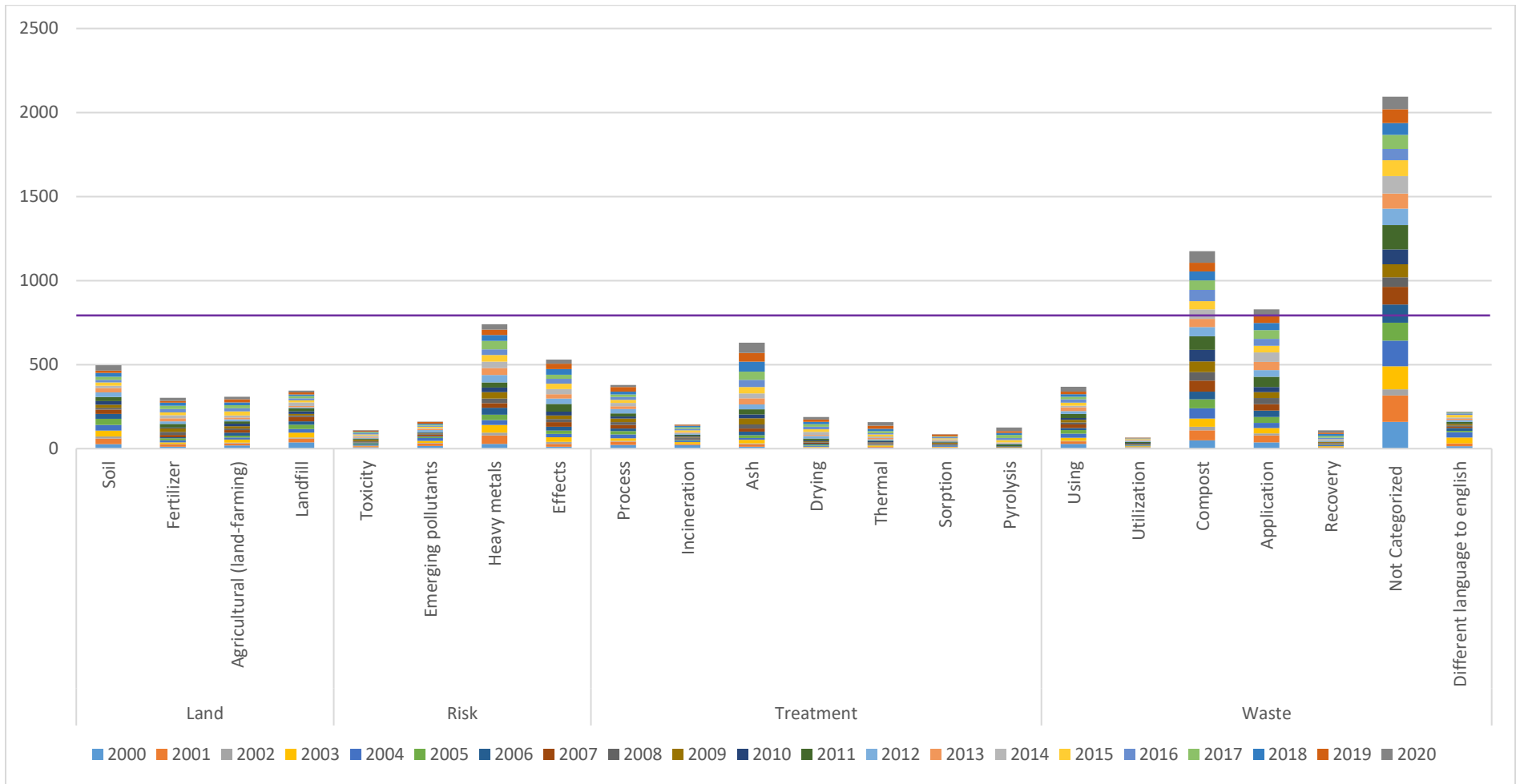


Figura 15b. Gráfico de Categorías y subcategorías en el periodo 2000–2020 sobre **Lodos Residuales de PTAR's de origen municipal** con un ■ promedio de 798.

3.1 Tendencia global

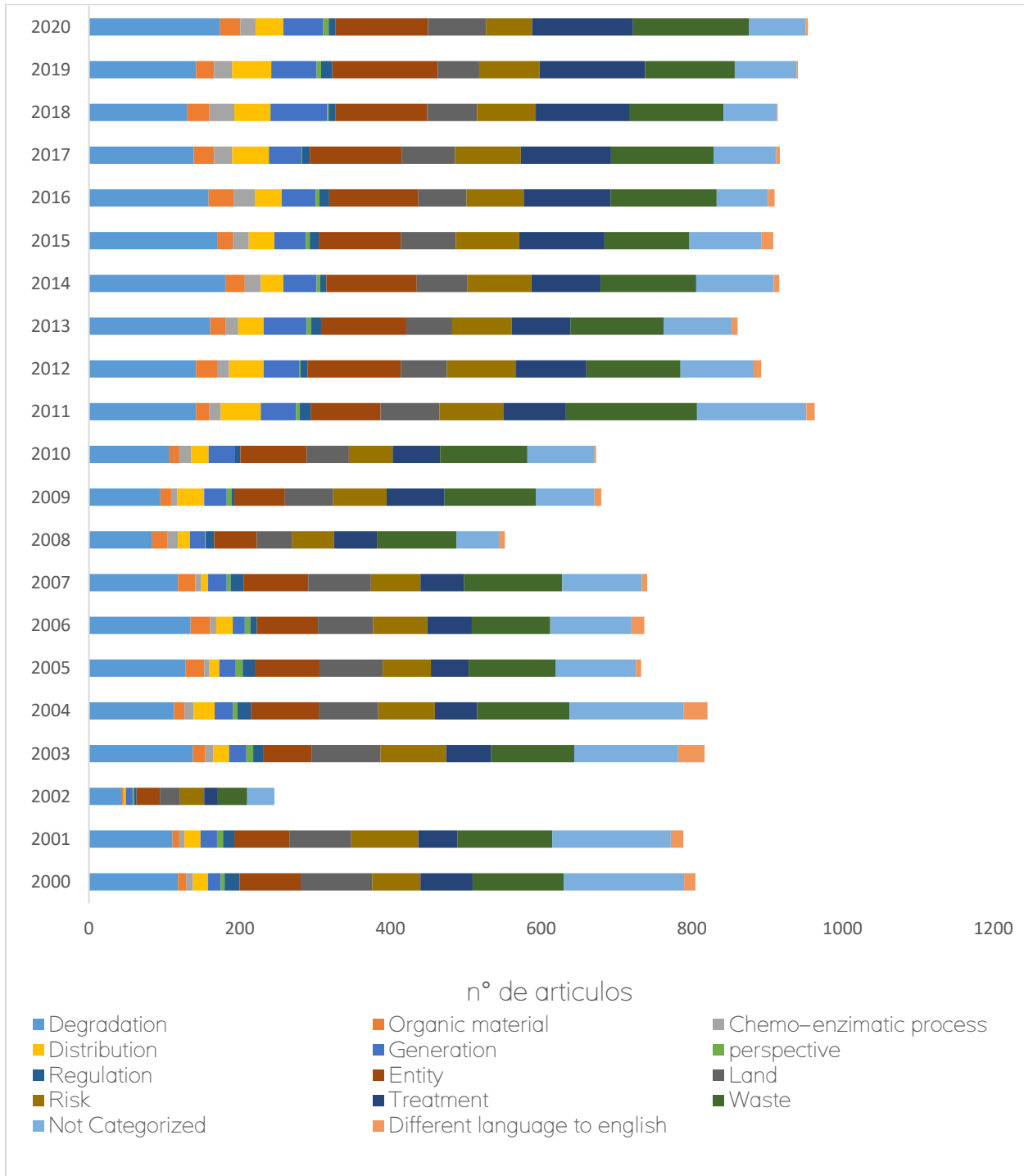
La Tabla 5 muestra el número de artículos publicados por categoría distribuidas por año, cabe resaltar que la década más productiva para todas las categorías es la segunda (2011–2020) manteniéndose en un promedio entre 18 y 20 artículos publicados por subcategoría al año, mientras que en la primera década se mantuvo en un promedio entre 11 y 14 artículos publicados por subcategoría al año. De la Tabla 5 se obtiene la Figura 15 que para fines más prácticos y para una mayor apreciación se dividirá en dos partes, en la Figura 15a nos muestra las categorías y las subcategorías con mayor estudio a lo largo del periodo, de las cuales resalta “Degradación” con subcategorías “Activated” y “Anaerobic” que sobrepasan el promedio de publicaciones (798) con 903 y 1,435 artículos totales respectivamente, también la categoría “Entity” con subcategoría “municipal” con 1,201 artículos. Para la Figura 15b, se tiene que “Waste” sobrepasa el promedio de artículos (798) con dos subcategorías, “Compost” (1,175) y “Application” (829), también a los “Not Categorized” con 2,095 artículos.

La Figura 16a muestra las publicaciones distribuidas por año para cada categoría, identificándose que los años más productivos fueron el año 2011 y el año 2020 con 963 y 954 artículos publicados respectivamente, para todas las categorías, destacando la subcategoría “waste” con 174 artículos en el 2011 y en 2020 destaca la subcategoría “Degradation” con también 174 artículos publicados.

En la Figura 16b que muestra el total de las publicaciones por categoría, la mayoría de las publicaciones que se hicieron en el periodo 2000–2020 fueron en los temas determinados como “Degradation” con 2,731 artículos equivalentes al 16.29% y “waste” con 2,548 que equivalen al 15.19%, seguidos de las categorías “Not Categorized” con 2,095 (10.21%) artículos, “Entity” con 1,988 (11.85%) artículos, “treatment” con 1,712 (10.21%), “Risk” con 1,541 (9.19%) artículos y “Land” con 1,453 (8.66%) artículos publicados. Los temas con menor cantidad de publicaciones fueron “Generation” con 755 artículos publicados que representan un 4.5% de las publicaciones, “Distribution” con 631 (3.76%), “Organic Material” con 427 (2.55%) artículos, “Chemo–Enzimatic Process” con 319 (1.9%) artículos, “Regulation” con 246 (1.47%) y “Different Language to English” con

221 artículos correspondientes al 1.32%, finalmente tenemos a la categoría “Perspective” con 103 con un valor del 0.61%.

Figura 16a. Total de publicaciones al año por categoría en la investigación de lodos residuales de PTAR’s municipales.



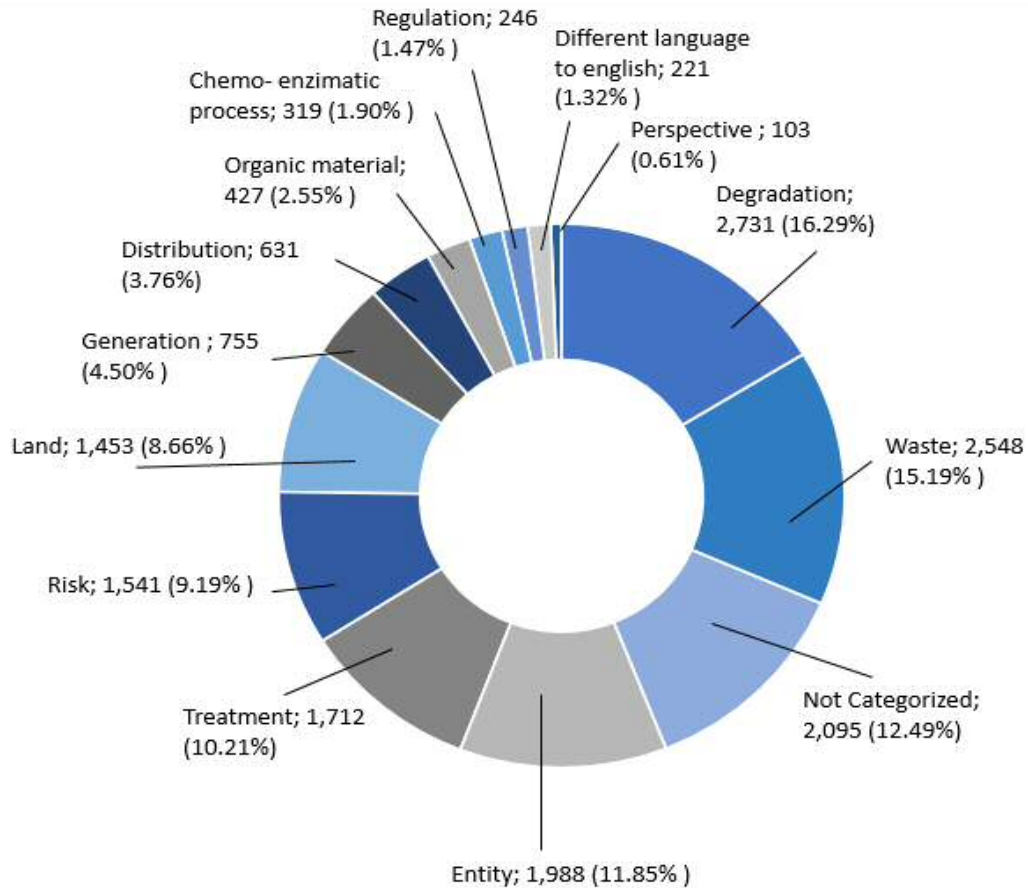


Figura 16b. Publicaciones totales por categoría en el periodo 2000–2020

3.2 Tendencia temática

Degradation

Las publicaciones sobre degradación son bastantes, en total suman 2,731 publicaciones en el periodo 2000–2020, logrando un aumento en la segunda década del estudio dando como resultado la época más productiva en el año 2014 con 181 artículos publicados y manteniéndose en un promedio de 154 publicaciones al año, Figura 17a. Cabe resaltar **que el tema que más destaca es “Anaerobic”** (Figura 17b) con un 54.01% del total de publicaciones sobre degradación. El proceso de digestión anaerobia, que en términos significa (sin oxígeno), funge en función de la reducción del volumen de lodos, inactiva patógenos que se consideran dañinos, reduce la demanda química y biológica de

oxígeno y además puede producir energía, (Appels et al., 2011; Zhang et al. 2020; Azarmanesh et al., 2023).

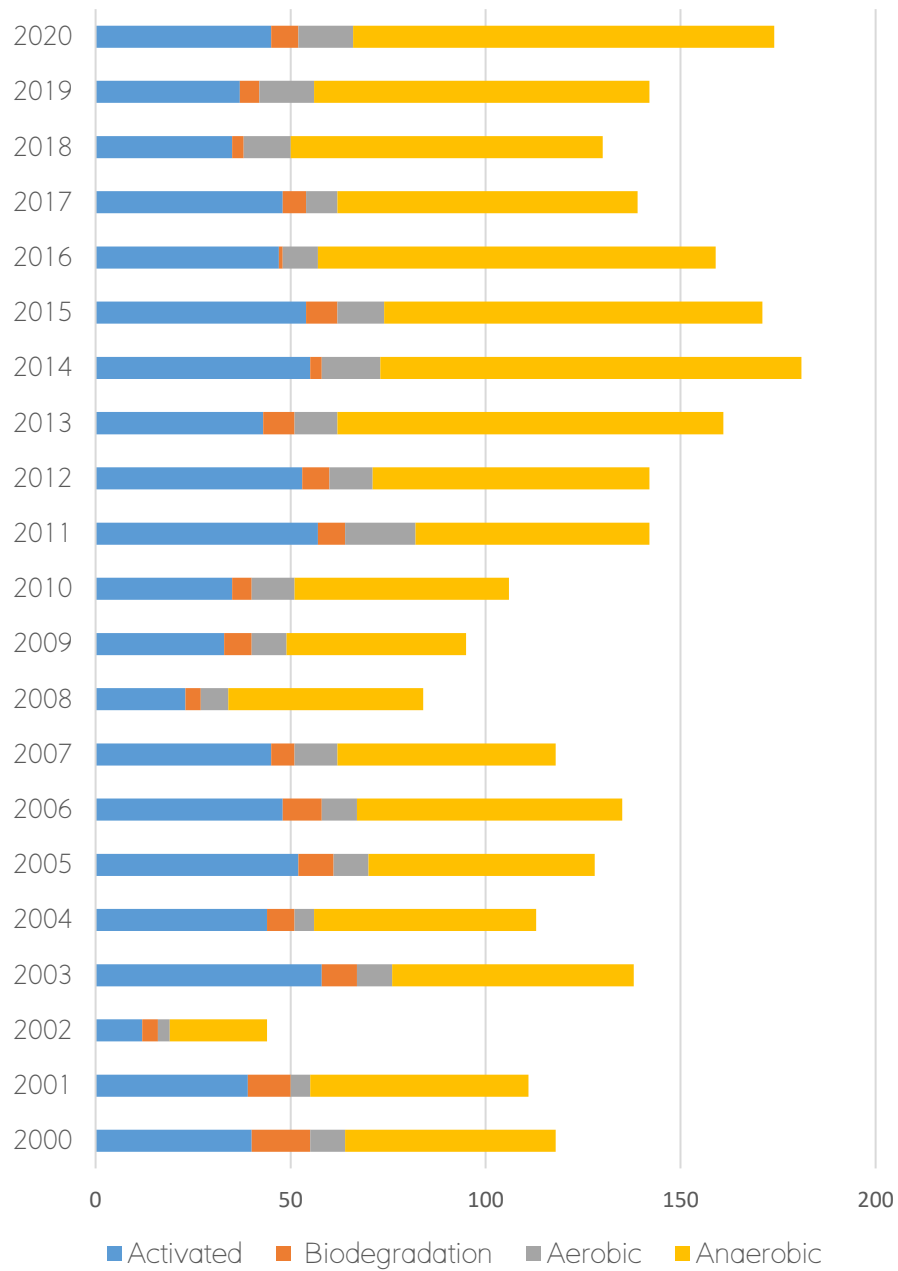


Figura 17a. Tendencia en la publicación “Degradation” por subcategorías (2000–2020)

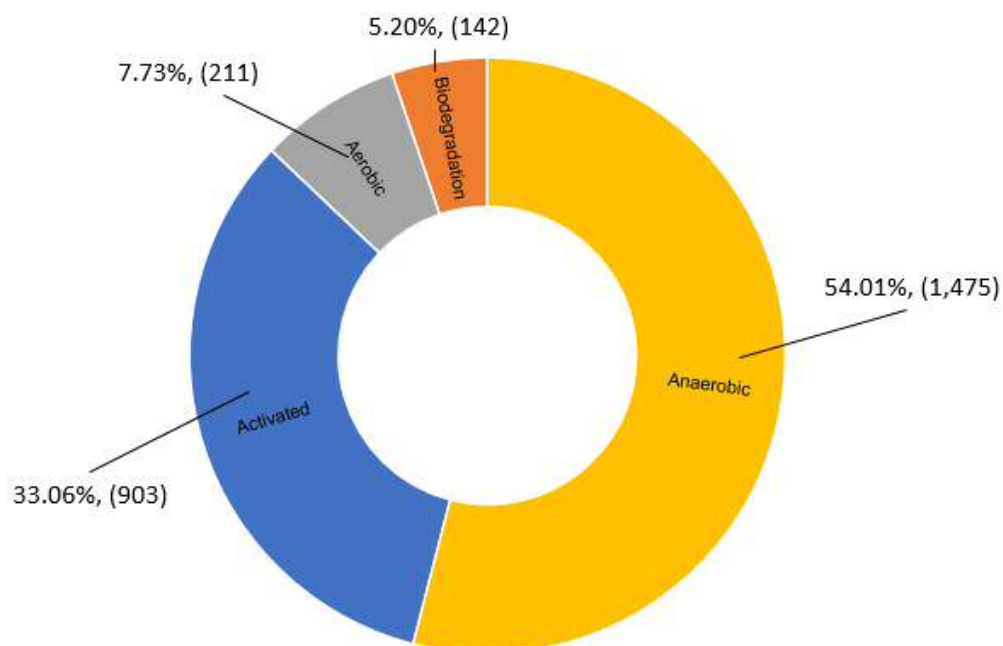


Figura 17b. Total de publicaciones en “Degradation” por subcategorías (2000–2020)

Posteriormente se encuentra la subcategoría “Activated” con un 33.06%, que hace alusión a lodos activados, su uso y rendimiento en el tratamiento de aguas residuales, (Defrance *et al.*, 2000; Johnson, Belfroid and di Corcia, 2000).

En tercer lugar, se encuentra la subcategoría “Aerobic” con un 7.73% (211) del total de datos en la categoría degradación, esta subcategoría describe procesos en presencia de oxígeno y temas de inhibición de crecimiento aeróbico y la nitrificación de bacterias en lodos, a biorreactores aeróbicos para el tratamiento biológico intensivo de aguas residuales y a lodos aerobios granulares producidos en Reactores Secuenciales por lotes (SBR). (Gander, Jefferson and Judd, 2000; Halling-Sørensen, 2001; Campos *et al.*, 2009)

Finalmente, se encuentra la subcategoría “Biodegradation” con 5.20% (142), que hace referencia a la capacidad de los materiales orgánicos y las sustancias de descomponerse en componentes más simples por medio de actividad enzimática de microorganismos. (Tudorachi *et al.*, 2000; Castronovo *et al.*, 2017; Valentino *et al.*, 2017)

En la Tabla 6 se muestra el índice h de artículos por subcategoría, que además demuestra la misma tendencia que en las Figuras 17a y 17b, la subcategoría **“anaerobic”** contiene más publicaciones con factor de impacto h, lo que nos indica que es el tema con mayor impacto en la comunidad científica centrado a lodos residuales **de PTAR’s** municipales.

| Category | Subcategory | Total | Indice h |
|-------------|----------------|-------|----------|
| Degradation | Activated | 903 | 205 |
| | Biodegradation | 142 | 29 |
| | Aerobic | 211 | 29 |
| | Anaerobic | 1475 | 330 |

Tabla 6. Total de publicaciones y publicaciones con índice **h**, en **“Degradation”** por subcategorías (2000–2020)

Waste

En esta categoría se encontraron un total de 2,548 artículos para el periodo que comprende de 2000 a 2020, dentro de los cuales resalta el año 2011 (Figura 18a) con un total de 174 artículos publicados, **entre los que se encuentran las subcategorías “Using”, “Utilization”, “Compost”, “Application” y “Recovery”**, además se puede observar una clara ventaja en cuanto a publicaciones basadas en el tema **“Compost”, quedando más clara** en la Figura 18b, que muestra este tema con un porcentaje de 46.11% y un número de artículos de 1,175, este tema aborda el compostaje como enfoque para convertir lodos en fertilizantes, el efecto que tendría el proceso de compostaje sobre propiedades y estado de metales pesados presentes en lodos, calidad de compost y sus propiedades. (He et al., 2016; Saffari Mahboub et al. 2020; Siles–Castellano et al., 2020; Nathanson, 2022)

“Application” con un 32.54% (829), representa a la aplicación de lodos residuales en diferentes procesos para la producción de compostaje. (Jakubus et al. 2020; Ozdemir et al., 2020; Schiptsova et al., 2020)

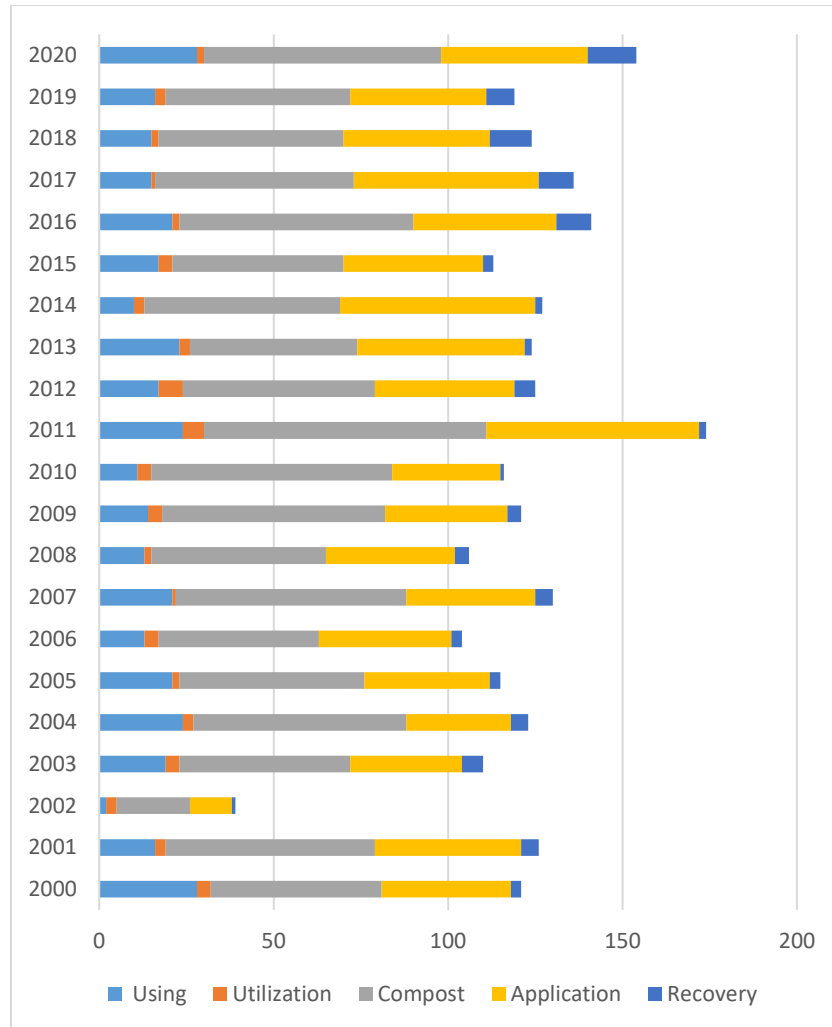
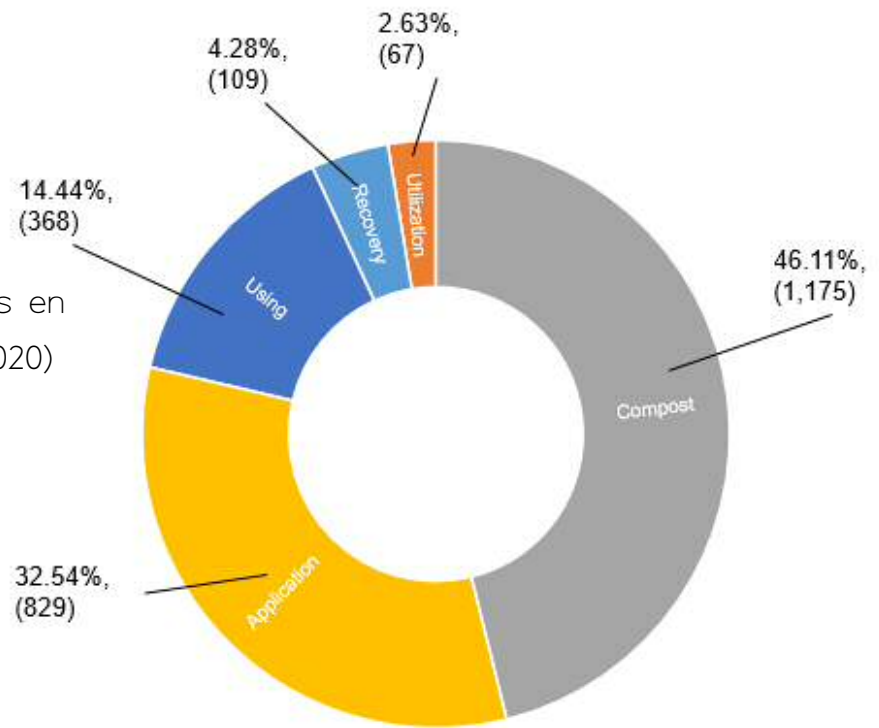


Figura 18a. Tendencia en la publicación “Waste” por subcategorías (2000–2020)

“Using” con 14.44% en representación de 368 artículos dentro de la categoría “Waste”, haciendo referencia a tratamiento y uso de efluentes de aguas residuales y a las opciones para el uso beneficioso de lodos residuales y métodos para mejorar la calidad de estos. (Outwater, 1988; Kamizela et al. 2020)

Figura 18b. Total de publicaciones en “Waste” por subcategorías (2000–2020)



Para la subcategoría **“Recovery”** se encontró **109** artículos que corresponden al 4.28% del total de artículos en la categoría (Waste), esta trata sobre la recolección de materiales orgánicos presentes en lodos residuales y sobre la recolección de minerales de forfato que puede ser mediante tecnologías de base electrocinética. (Guedes et al., 2016, 2017; Lin et al. 2018; Wilfert et al., 2018; Chispim et al. 2019)

“Utilization” contando un 2.63% equivalentes a 67 artículos, sobre la utilización y aprovechamiento de lodos residuales como sustituto agregado en mezclas asfálticas y como recurso para la producción de cemento, (Xu et al., 2014; He et al., 2015; Mohd Jakarni et al., 2015; Mojapelo et al., 2021).

En la Tabla 7 se muestra al igual que en la Tabla 6 de degradación, que la tendencia en la categoría de **“Waste”**, es la subcategoría **“compost”**, seguido de **“Aplication”**, **“Using”**,

“Recovery” y por último se encuentra “Utilization”, sin embargo, esta tabla reafirma que “compost” es una de las subcategorías con mayor relevancia en publicaciones ya que su índice h en los artículos es uno de los más altos.

Tabla 7. Total de publicaciones y publicaciones con índice h, en “Waste” por subcategorías (2000–2020)

| Category | Subcategory | Total | Indice h |
|----------|-------------|-------|----------|
| Waste | Using | 368 | 49 |
| | Utilization | 67 | 6 |
| | Compost | 1175 | 159 |
| | Application | 829 | 110 |
| | Recovery | 109 | 9 |

Entity

La tendencia de publicaciones en la categoría “Entity” ha aumentado después de 2011 con una publicación media de 121 publicaciones al año (Figura 19a), identificándose cinco subcategorías interesantes, “Municipal”, “Production”, “Sustainability”, “Performance” y “Removal”, tratándose de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de agua, producción y regulación de lodos residuales, remoción de sustancias de desechos municipales, desempeño agrónomo de lodos como fuente de nitrógeno, etc; (Murray et al., 2019; Abeysiriwardana–Arachchige et al., 2020; Fang et al., 2020).

La subcategoría “Municipal” muestra una clara ventaja en esta categoría (Entity), contando con 1,201 artículos y con un 60.41% sobre el total de datos de la categoría (Figura 19b), consiste estudios de procesamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, análisis de costos y beneficios de lodos municipales como fuente de nutrientes, evaluaciones económicas de recuperación de nutrientes de plantas de tratamiento municipales, y una visión general del tratamiento de

lodos municipales, (D. Wang et al., 2018; Wu et al., 2018; Tesfamariam et al., 2020; X. Huang et al., 2020).

Como siguiente tema se encuentra “Production” con un total de 433 artículos, que perteneces al 21.78%, que abordan la producción de combustibles a partir de lodos residuales, como biocarbón y bioaceite, la producción mejorada de hidrogeno y la producción de gas, (Haghighat et al., 2020; Lima et al., 2020; Nabi et al., 2020; Tena et al., 2020; Zhang et al., 2020)

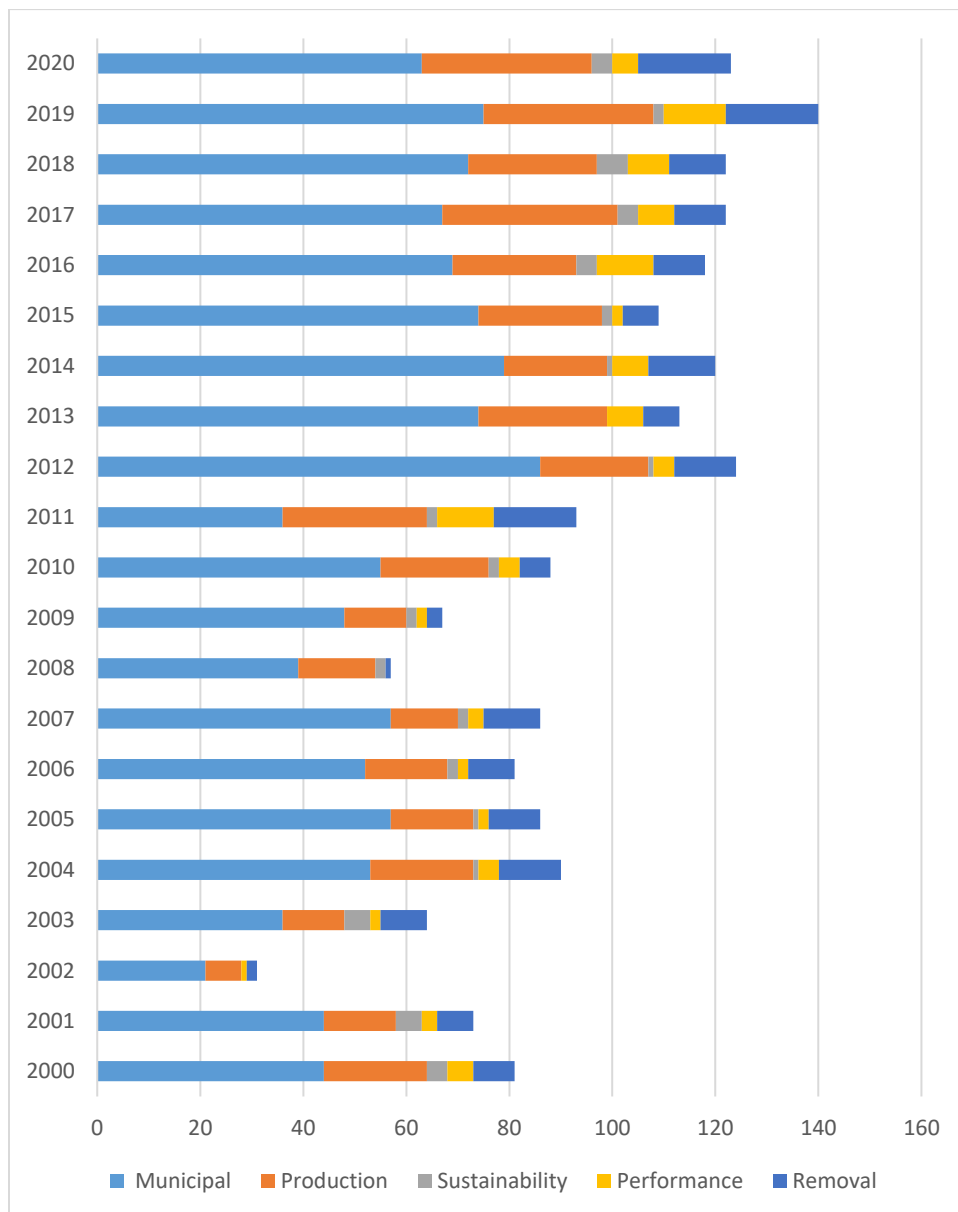


Figura 19a. Tendencia en la **publicación “Entity” por subcategorías (2000–2020)**

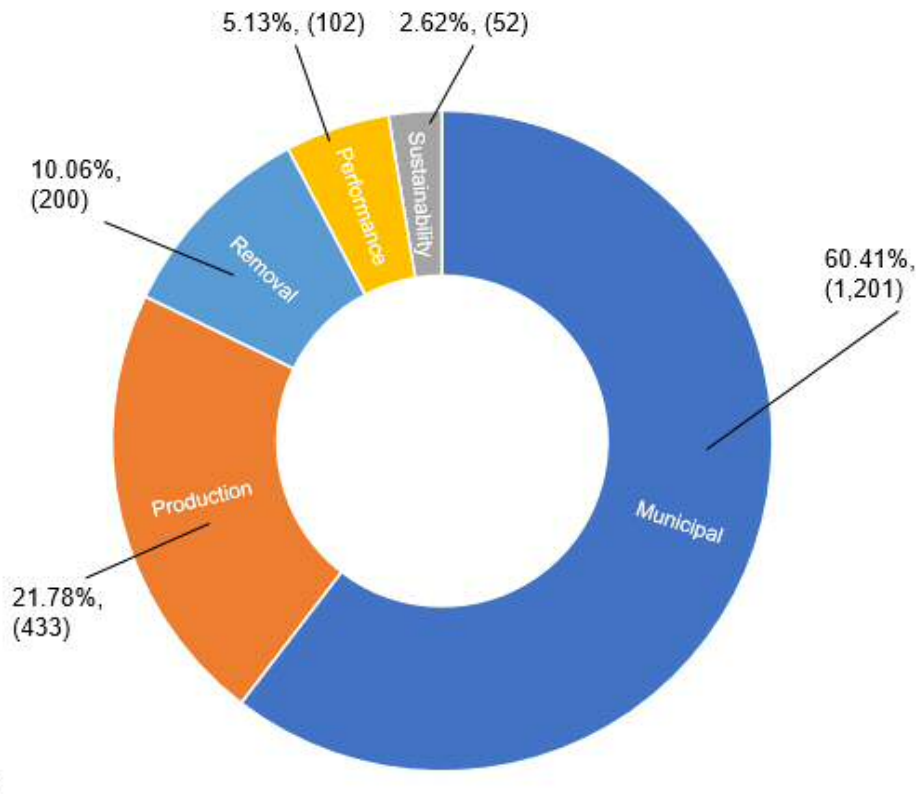


Figura 19b. Total de publicaciones en “Entity” por subcategorías (2000–2020)

En la subcategoría “Removal” se obtuvieron 200 artículos los cuales representan el 10.06% de los datos, tratándose de la remoción y eliminación de sustancias contenidas en lodos residuales, como fosfatos(Li *et al.*, 2019), arsenico, cobre, hierro(CORTÉS-TORRES *et al.*, 2019), antibióticos(Zheng *et al.*, 2019), nutrientes, etc; (Zhao *et al.*, 2019).

En cuanto a la subcategoría “Performance” se tiene una menor cantidad de artículos, cuya época más productiva fue en 2019 con 12 publicaciones (Figura 19a), sin embargo, en total solo llega a 102 artículos conformando el 5.13% (Figura 19b), refiriéndose al desempeño o rendimiento de productos a partir de lodos y de los procesos de remoción de los mismo o de componentes encontrados en ellos (Liu *et al.*, 2013; Bertanza *et al.*, 2014; Jiang *et al.*, 2017; Pedrouso *et al.*, 2019).

Por último se encuentra “Sustainability”, que consiste en el análisis de métodos y técnicas para la utilización de métodos sostenibles de lodos residuales y en las oportunidades y desafíos en el tratamiento sostenible de estos. (Hamood and Khatib, 2016; Raheem *et al.*, 2018; Stunda-Zujeva, Kreicbergs and Medne, 2018; Al-Mansour *et al.*, 2022)

En la Tabla 8, se encuentran los índices h para la categoría “Entity” en la que se puede observar una tendencia de publicaciones basado en la subcategoría “Municipal” con 206 artículos, lo que confirma que en “Entity”, fue el tema más estudiado a lo largo del periodo de 2000–2020.

Tabla 8. Total de publicaciones y publicaciones con índice h, en “Entity” por subcategorías (2000–2020)

| Category | Subcategory | Total | Indice h |
|----------|----------------|-------|----------|
| Entity | Municipal | 1201 | 206 |
| | Production | 433 | 84 |
| | Sustainability | 52 | 11 |
| | Performance | 102 | 8 |
| | Removal | 200 | 61 |

Conclusiones

Esta investigación logró sus objetivos, se propusieron 12 categorías y 44 subcategorías en base a características y palabras clave de diversos artículos de lodos residuales de PTAR's municipales para determinar la tendencia sobre investigación en el periodo 2000–2020 mediante un estudio bibliométrico empleando el programa Harzing's publish or perish.

Se utilizó una metodología propuesta por (Antonio-Macedo, 2022), basada en 4 fases (1. Instalación, 2. Recolección, 3. Refinación, 4. Análisis), a la que se le agregaron 2 modificaciones, la primera en la Fase 2, referente a la eliminación de artículos con $h = 0$ y la segunda en la Fase 3, alusivo a la refinación de datos para eliminar artículos repetidos, lo que podría resultar en una variación de datos.

Considerando 16,770 datos obtenidos de las bases Scopus y Google Scholar, es posible percibir un crecimiento general en la investigación durante la segunda década del período de estudio y analizando cada categoría obteniéndose el siguiente modelo para las categorías con mayor relevancia y que superan el promedio de publicaciones para el periodo 2000–2020:

“Degradation” (2,731; 16.29%) > **“Waste”** (2,548; 15.19%) > **“Entity”** (1,712; 10.21%)

Para las subcategorías de obtuvo el siguiente modelo con los temas de mayor interés en las décadas de 2000–2020:

“Anaerobic” (1,475; 8.80%) > **“Municipal”** (1,201; 7.16%) > **“Compost”** (1,175; 7.01%) > **“Activated”** (903; 5.38%) > **“Aplication”** (829; 4.94%)

Este trabajo ha proporcionado un estado actual de la investigación relacionada con lodos residuales provenientes de PTAR's municipales que permitirá a los investigadores determinar áreas de enfoque para futuras investigaciones.

Las investigaciones futuras tienen una gama de oportunidad de investigación en cuanto a temas de distribución, generación, regulación y perspectiva, ya que son temas de poca

investigación y estos pueden representar un punto importante para la mejora de procesos, e impactos en el bienestar de las generaciones futuras.

Se sugiere proponer más o diferentes categorías, en caso de usar las mismas filtrar las categorías en un orden diferente y/o hacer una evaluación de tendencia en diferente periodo de tiempo.

Referencias

Abey Siriwardana–Arachchige, I.S.A. *et al.* (2020) '**Removal and recovery of nutrients from municipal sewage: Algal vs. conventional approaches**', *Water Research*, 175, p. 115709. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115709>.

Al–Mansour, A. *et al.* (2022) '**Sustainable cement mortar with recycled plastics enabled by the matrix–aggregate compatibility improvement**', *Construction and Building Materials*, 318, p. 125994. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125994>.

Alvarenga, P. *et al.* (2007) '**Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land**', *Environment International*, 33(4), pp. 505–513. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.006>.

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

Alvarez, J. *et al.* (2016) '**Preparation of adsorbents from sewage sludge pyrolytic char by carbon dioxide activation**', *Process Safety and Environmental Protection*, 103, pp. 76–86. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.035>.

Antonio–Macedo, C.I. (2022) *Diseño de una metodología para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal*.

Appels, L. *et al.* (2011) '**Anaerobic digestion in global bio–energy production: Potential and research challenges**', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), pp. 4295–4301. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121>.

Araujo Junior, M.M. de *et al.* (2013) '**Reduction of sludge generation by the addition of support material in a cyclic activated sludge system for municipal wastewater treatment**',

Bioresource Technology, 143, pp. 483–489. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.032>.

Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017) 'bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis', *Journal of Informetrics*, 11(4), pp. 959–975. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

Armstrong, D.L. *et al.* (2017) '**Influence of thermal hydrolysis-anaerobic digestion treatment of wastewater solids on concentrations of triclosan, triclocarban, and their transformation products in biosolids**', *Chemosphere*, 171, pp. 609–616. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.122>.

Arrigoni, J.P. *et al.* (2018) '**Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins**', *Waste Management*, 76, pp. 284–293. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.010>.

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

Azarmanesh, R. *et al.* (2023) '**Anaerobic co-digestion of sewage sludge with other organic wastes: A comprehensive review focusing on selection criteria, operational conditions, and microbiology**', *Chemical Engineering Journal Advances*, 14, p. 100453. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.100453>.

Barrón-Hernández, L.M. *et al.* (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*, 29(55), pp. 83512–83525. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21692-y>.

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

Bertanza, G. *et al.* (2014) '**Sewage sludge minimisation by means of wet oxidation: process performance and economic sustainability**', *International Journal of Global Warming*, 6(2/3), p. 234. Available at: <https://doi.org/10.1504/IJGW.2014.061017>.

Campos, J.L. *et al.* (2009) '**Aerobic sludge granulation: state-of-the-art**', *International Journal of Environmental Engineering*, 1(2), p. 136. Available at: <https://doi.org/10.1504/IJEE.2009.027311>.

Carbonell, G. *et al.* (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), pp. 1614–1623. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.025>.

Castronovo, S. *et al.* (2017) '**Biodegradation of the artificial sweetener acesulfame in biological wastewater treatment and sandfilters**', *Water Research*, 110, pp. 342–353. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.041>.

Cenni, R. *et al.* (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), pp. 17–31. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00074-X).

Chen, G. *et al.* (2021a) '**Comparative evaluation on municipal sewage sludge utilization processes for sustainable management in Tibet**', *Science of The Total Environment*, 765, p. 142676. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142676>.

Chen, G. *et al.* (2021b) '**Comparative evaluation on municipal sewage sludge utilization processes for sustainable management in Tibet**', *Science of The Total Environment*, 765, p. 142676. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142676>.

Chen, T. *et al.* (2014) '**Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge**', *Bioresource Technology*, 164, pp. 47–54. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.048>.

Choi, O.K. *et al.* (2014) '**Biodiesel production from wet municipal sludge: Evaluation of in situ transesterification using xylene as a cosolvent**', *Bioresource Technology*, 166, pp. 51–56. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.001>.

Chripim, M.C., Scholz, M. and Nolasco, M.A. (2019) '**Phosphorus recovery from municipal wastewater treatment: Critical review of challenges and opportunities for developing countries**', *Journal of Environmental Management*, 248, p. 109268. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109268>.

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

Cieślik, B.M., Namieśnik, J. and Konieczka, P. (2015) '**Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods**', *Journal of Cleaner Production*, 90, pp. 1–15. Available at: <https://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*. CRC Press, pp. 167–171. Available at: <https://doi.org/10.1201/b14894-28>.

Cofie, O.O. *et al.* (2006) '**Solid–liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture**', *Water Research*, 40(1), pp. 75–82. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.023>.

CORTÉS-TORRES, C. *et al.* (2019) '**REMOVING ARSENIC, COPPER AND IRON FROM SEWAGE SLUDGE WITH REED (Phragmites australis)**', *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3). Available at: https://doi.org/10.15666/aeer/1703_56035617.

Coura, R.D. *et al.* (2021) '**Spatially Explicit Model for Anaerobic Co-Digestion Facilities Location and Pre-Dimensioning Considering Spatial Distribution of Resource Supply and Biogas Yield in Northwest Portugal**', *Applied Sciences*, 11(4), p. 1841. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11041841>.

Crane, R.S. *et al.* (2010) **'Fate and behaviour of copper and zinc in secondary biological wastewater treatment processes: I Evaluation of biomass adsorption capacity'**, *Environmental Technology*, 31(7), pp. 705–723. Available at: <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.481314>.

Defrance, L. *et al.* (2000) **'Contribution of various constituents of activated sludge to membrane bioreactor fouling'**, *Bioresource Technology*, 73(2), pp. 105–112. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00163-7).

Dereli, R.K., Clifford, E. and 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), pp. 1079–1128. Available at: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1745014>.

Ding, Y. *et al.* (2019) **'Odor removal by and microbial community in the enhanced landfill cover materials containing biochar-added sludge compost under different operating parameters'**, *Waste Management*, 87, pp. 679–690. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.009>.

Egghe, L. (2006) **'Theory and practise of the g-index'**, *Scientometrics*, 69(1), pp. 131–152. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>.

Fang, W. *et al.* (2020) **'Overview of key operation factors and strategies for improving fermentative volatile fatty acid production and product regulation from sewage sludge'**, *Journal of Environmental Sciences*, 87, pp. 93–111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.027>.

Ferge, T. *et al.* (2004) **'Particle Collection Efficiency and Particle Re-entrainment of an Electrostatic Precipitator in a Sewage Sludge Incineration Plant'**, *Environmental Science & Technology*, 38(5), pp. 1545–1553. Available at: <https://doi.org/10.1021/es034709s>.

Fu, H. *et al.* (2010a) **'A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993–2008'**, *Waste Management*, 30(12), pp. 2410–2417. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.008>.

Fu, H. *et al.* (2010b) 'A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993–2008', *Waste Management*, 30(12), pp. 2410–2417. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.008>.

Gálve Toro, A. and Amezcua, M. (2006) 'Una actualización sobre los métodos de evaluación de los autores y sus aportaciones en publicaciones científicas.'

Gander, M., Jefferson, B. and Judd, S. (2000) 'Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations', *Separation and Purification Technology*, 18(2), pp. 119–130. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(99\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(99)00056-8).

Garg, P., Gupta, A. and Satya, S. (2006) 'Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study', *Bioresource Technology*, 97(3), pp. 391–395. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009>.

Gatidou, G., Arvaniti, O.S. and Stasinakis, A.S. (2019) 'Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants', *Journal of Hazardous Materials*, 367, pp. 504–512. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.081>.

George Tchobanoglous *et al.* (2003) ***Wastewater engineering : treatment and reuse***. 4th edn. Boston: McGraw-Hill, ©2003.

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

Giannakis, I. *et al.* (2021) 'Chemical and ecotoxicological assessment of sludge-based biosolids used for corn field fertilization', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), pp. 3797–3809. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09165-6>.

Grobelak, A. *et al.* (2019) 'Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant-new technical solution', *Journal of Environmental Management*, 234, pp. 90–96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.111>.

Guedes, P. *et al.* (2016) '**Electrodialytic treatment of sewage sludge: Current intensity influence on phosphorus recovery and organic contaminants removal**', *Chemical Engineering Journal*, 306, pp. 1058–1066. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.040>.

Guedes, P. *et al.* (2017) '**Phosphorus Recovery in Sewage Sludge by Electrokinetic Based Technologies: A Multivariate and Circular Economy View**', *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), pp. 1587–1596. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9985-y>.

Gunarathne, V. *et al.* (2020) '**Potential of biochar and organic amendments for reclamation of coastal acidic-salt affected soil**', *Biochar*, 2(1), pp. 107–120. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00036-4>.

Haghighat, M. *et al.* (2020) '**Production of bio-oil from sewage sludge: A review on the thermal and catalytic conversion by pyrolysis**', *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, p. 100870. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100870>.

Hale, R.C. and 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), pp. 371–386. Available at: <https://doi.org/10.2190/EG3A-P708-9A2L-BRF5>.

Halling-Sørensen, B. (2001) '**Inhibition of Aerobic Growth and Nitrification of Bacteria in Sewage Sludge by Antibacterial Agents**', *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 40(4), pp. 451–460. Available at: <https://doi.org/10.1007/s002440010197>.

Hamood, A. and Khatib, J.M. (2016) '**Sustainability of sewage sludge in construction**', in *Sustainability of Construction Materials*. Elsevier, pp. 625–641. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00024-X>.

Harzing, A.-W. (2007) *Publish or Perish*.

Harzing, A.-W. and Alakangas, S. (2016) 'Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison', *Scientometrics*, 106(2), pp. 787–804. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>.

He, Q. *et al.* (2015) 'The utilization of sewage sludge by blending with coal water slurry', *Fuel*, 159, pp. 40–44. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.071>.

He, X. *et al.* (2016) 'Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials', *Bioresource Technology*, 218, pp. 867–873. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.045>.

Hemmat, A. *et al.* (2010a) '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), pp. 43–50. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.007>.

Hemmat, A. *et al.* (2010b) '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), pp. 43–50. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.007>.

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

Huang, X. *et al.* (2020) 'Economic evaluation of ion-exchange processes for nutrient removal and recovery from municipal wastewater', *npj Clean Water*, 3(1), p. 7. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0054-x>.

Huang, Y.-F. *et al.* (2020) 'Heterogeneous Fenton oxidation of trichloroethylene catalyzed by sewage sludge biochar: Experimental study and life cycle assessment', *Chemosphere*, 249, p. 126139. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126139>.

Jakubus, M. and Graczyk, M. (2020) 'Microelement Variability in Plants as an Effect of Sewage Sludge Compost Application Assessed by Different Statistical Methods', *Agronomy*, 10(5), p. 642. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10050642>.

Jalili, M. *et al.* (2019) 'Toxicity evaluation and management of co-composting pistachio wastes combined with cattle manure and municipal sewage sludge', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, pp. 798–804. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.056>.

Jiang, Y. *et al.* (2017) 'Removal performance of phosphate from aqueous solution using a high-capacity sewage sludge-based adsorbent', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 76, pp. 59–64. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.04.002>.

Jin, L. *et al.* (2023) 'Hotspots and trends of biological water treatment based on bibliometric review and patents analysis', *Journal of Environmental Sciences*, 125, pp. 774–785. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.03.037>.

Johnson, A.C., Belfroid, A. and di Corcia, A. (2000) 'Estimating steroid oestrogen inputs into activated sludge treatment works and observations on their removal from the effluent', *Science of The Total Environment*, 256(2–3), pp. 163–173. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00481-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00481-2).

Julca-Otiniano, A. *et al.* (2006) 'LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA', *Idesia (Arica)*, 24(1). Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.

Kamizela, T., Kowalczyk, M. and Zawieja, I. (2020) 'The Use of Chemical Methods and Magnetic Field in Conditioning and Dewatering of Digested Sewage Sludge', *Water*, 12(6), p. 1642. Available at: <https://doi.org/10.3390/w12061642>.

Kang, A.J. *et al.* (2018) 'Removal of antibiotic sulfamethoxazole by anoxic/anaerobic/oxic granular and suspended activated sludge processes', *Bioresource Technology*, 251, pp. 151–157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.021>.

Kartal, B., Kuenen, J.G. and van Loosdrecht, M.C.M. (2010) 'Sewage Treatment with Anammox', *Science*, 328(5979), pp. 702–703. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1185941>.

Kelessidis, A. and 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), pp. 1186–1195. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>.

Knapczyk, A. *et al.* (2019) 'Analysis of research trends in production of solid biofuels', in. Available at: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N415>.

Körner, W. *et al.* (2000) 'Input/output balance of estrogenic active compounds in a major municipal sewage plant in Germany', *Chemosphere*, 40(9–11), pp. 1131–1142. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00362-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00362-8).

Kwon, E.E. *et al.* (2018) 'Effects of calcium carbonate on pyrolysis of sewage sludge', *Energy*, 153, pp. 726–731. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.100>.

Lamastra, L., Suci, N.A. and Trevisan, M. (2018) 'Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer', *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), p. 10. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>.

Lares, M. *et al.* (2018) 'Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology', *Water Research*, 133, pp. 236–246. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>.

Lei, Z. *et al.* (2018) 'Application of anaerobic membrane bioreactors to municipal wastewater treatment at ambient temperature: A review of achievements, challenges, and perspectives', *Bioresour. Technol.*, 267, pp. 756–768. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.050>.

Lendormi, T., P.C., D.F., F.J.N., & D.H. (2001) '**Subcritical wet oxidation of municipal sewage sludge: comparison of batch and continuous experiments.**', *Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 44(5)(161–9). Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11695455>.

Leung, W.C. *et al.* (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), pp. 233–240. Available at: <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0277>.

Li, J. *et al.* (2019) '**Removal of phosphate from aqueous solution by dolomite-modified biochar derived from urban dewatered sewage sludge**', *Science of The Total Environment*, 687, pp. 460–469. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.400>.

Li, Y. *et al.* (2020) '**Activated carbon preparation from pyrolysis char of sewage sludge and its adsorption performance for organic compounds in sewage**', *Fuel*, 266, p. 117053. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117053>.

Li, Z. *et al.* (2018) '**Influence of potassium hydroxide activation on characteristics and environmental risk of heavy metals in chars derived from municipal sewage sludge**', *Bioresource Technology*, 256, pp. 216–223. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.013>.

Liang, J. *et al.* (2020) '**Evaluation of the dewaterability, heavy metal toxicity and phytotoxicity of sewage sludge in different advanced oxidation processes**', *Journal of Cleaner Production*, 265, p. 121839. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121839>.

Liang, K. and 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, pp. 262–270. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.112>.

Lima, L.F. de *et al.* (2020) '**Production of biochars derived from sewage sludge and orange peels**', *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 24, p. e18. Available at: <https://doi.org/10.5902/2236117062692>.

Lin, L., Li, R. and Li, X. (2018) '**Recovery of organic resources from sewage sludge of Al-enhanced primary sedimentation by alkali pretreatment and acidogenic fermentation**', *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 3334–3341. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.199>.

Lin, S. *et al.* (2018a) '**Biological sulfur oxidation in wastewater treatment: A review of emerging opportunities**', *Water Research*, 143, pp. 399–415. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.051>.

Lin, S. *et al.* (2018b) '**Biological sulfur oxidation in wastewater treatment: A review of emerging opportunities**', *Water Research*, 143, pp. 399–415. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.051>.

Liu, J. *et al.* (2013) '**Microstructure and performance of sludge-ceramisite concrete**', *Construction and Building Materials*, 39, pp. 82–88. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.004>.

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

López, A. *et al.* (2020) '**Microbiological quality of sewage sludge after digestion treatment: A pilot scale case of study**', *Journal of Cleaner Production*, 254, p. 120101. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120101>.

López-Valdez, F. *et al.* (2010) '**Microorganisms in sewage sludge added to an extreme alkaline saline soil affect carbon and nitrogen dynamics**', *Applied Soil Ecology*, 45(3), pp. 225–231. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.009>.

Ma, P. and Rosen, C. (2021) **'Land application of sewage sludge incinerator ash for phosphorus recovery: A review'**, *Chemosphere*, 274, p. 129609. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129609>.

Ma, W. *et al.* (2021) **'Plasma vitrification and heavy metals solidification of MSW and sewage sludge incineration fly ash'**, *Journal of Hazardous Materials*, 408, p. 124809. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124809>.

Macedo, C.I.A. (2022) *Diseño de una metodología para establecer la directriz en la investigación científica relacionada con lodos residuales provenientes de PTARs de ámbito municipal*.

Marques, R.R.N. *et al.* (2011) **'Sewage sludge based catalysts for catalytic wet air oxidation of phenol: Preparation, characterisation and catalytic performance'**, *Applied Catalysis B: Environmental*, 101(3–4), pp. 306–316. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.09.033>.

Mohd Jakarni, F. *et al.* (2015) **'Utilization of Sewage Sludge Molten Slag as Aggregate Substitute in Asphalt Mixtures'**, *Jurnal Teknologi*, 73(4). Available at: <https://doi.org/10.11113/jt.v73.4302>.

Mojapelo, K.S. *et al.* (2021) **'Utilization of wastewater sludge for lightweight concrete and the use of wastewater as curing medium'**, *Case Studies in Construction Materials*, 15, p. e00667. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00667>.

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

Murray, R. *et al.* (2019) **'The impact of municipal sewage sludge stabilization processes on the abundance, field persistence, and transmission of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables at harvest'**, *Science of The Total Environment*, 651, pp. 1680–1687. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.030>.

Nabi, M. *et al.* (2020) 'Enhancement of high pressure homogenization pretreatment on biogas production from sewage sludge: a review', *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 175, pp. 341–351. Available at: <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24670>.

Nathanson, J. (2022) 'solid-waste management.', *Encyclopedia Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>.

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

Nsenga Kumwimba, M. *et al.* (2020) 'Anammox-based processes: How far have we come and what work remains? A review by bibliometric analysis', *Chemosphere*, 238, p. 124627. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124627>.

Öberg, K., Warman, K. and Öberg, T. (2002) 'Distribution and levels of brominated flame retardants in sewage sludge', *Chemosphere*, 48(8), pp. 805–809. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00113-3).

Obernberger, I. (1998) 'Decentralized biomass combustion: state of the art and future development' 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, Copenhagen, Denmark.', *Biomass and Bioenergy*, 14(1), pp. 33–56. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00034-2).

Olkiewicz, M. *et al.* (2015) 'Efficient extraction of lipids from primary sewage sludge using ionic liquids for biodiesel production', *Separation and Purification Technology*, 153, pp. 118–125. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.08.038>.

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

Outwater, A. (1988) *Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-04097-2>.

Ozdemir, S. *et al.* (2020) '**Application of solarization for sanitization of sewage sludge compost**', *Journal of King Saud University – Science*, 32(1), pp. 443–449. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.07.004>.

Paiva, L.A.L. de, Haandel, A.C. van and Mota, L.S. (2020) '**Lodo ativado em bateladas sequenciais como opção de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**', *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(2), pp. 259–269. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020159463>.

Pedrouso, A. *et al.* (2019) '**Performance of partial nitrification–anammox processes at mainstream conditions in an IFAS system**', *Journal of Environmental Management*, 250, p. 109538. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109538>.

Peng, C. *et al.* (2016) '**Production of char from sewage sludge employing hydrothermal carbonization: Char properties, combustion behavior and thermal characteristics**', *Fuel*, 176, pp. 110–118. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.068>.

QIAN, G. *et al.* (2006) '**Utilization of MSWI fly ash for stabilization/solidification of industrial waste sludge**', *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), pp. 274–281. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.003>.

Qian, L. *et al.* (2016) '**Treatment of municipal sewage sludge in supercritical water: A review**', *Water Research*, 89, pp. 118–131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.047>.

Qin, L. *et al.* (2020) '**In-situ biodegradation of harmful pollutants in landfill by sludge modified biochar used as biocover**', *Environmental Pollution*, 258, p. 113710. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113710>.

Raheem, A. *et al.* (2018) '**Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review**', *Chemical Engineering Journal*, 337, pp. 616–641. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.149>.

Rahube, T.O. *et al.* (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), pp. 6898–6907. Available at: <https://doi.org/10.1128/AEM.02389-14>.

Raksasat, R. *et al.* (2020) '**A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources**', *Environmental Pollution*, 267, p. 115488. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115488>.

Ramírez, W.A. *et al.* (2008) '**Toxic effects of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants**', *Bioresource Technology*, 99(15), pp. 7168–7175. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.072>.

Rashed, I.G.A.-A. *et al.* (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), pp. 280–285. Available at: <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1575>.

Regitano, J.B. *et al.* (2022) '**Sewage Sludge Management for Environmental Sustainability: An Introduction**', in *Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge*. Cham: Springer International Publishing, pp. 1–28. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85226-9_1.

Rezaee, F. *et al.* (2019) '**Investigating chemical, physical and mechanical properties of eco-cement produced using dry sewage sludge and traditional raw materials**', *Journal of Cleaner Production*, 214, pp. 749–757. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.153>.

Rodriguez-Sanchez, A. *et al.* (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), pp. 2281–2291. Available at: <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1147613>.

Saffari Mahboub and Saffari, V. (2020) 'Effect of Composting Process on Some Chemical–Biological Properties and Heavy Metals Behavior of Municipal Sewage Sludge as Affected by Various Bulking Agents.', (661–679). Available at: <https://doi.org/10.22059/poll.2020.295781.736>.

Schiptsova, N. *et al.* (2020) '**Effect of sewage sludge application on heavy metals contamination in soil and carrot**', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 604(1), p. 012034. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/604/1/012034>.

Sedighi, A. *et al.* (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, p. 111797. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111797>.

Sidiropoulos, A., Katsaros, D. and Manolopoulos, Y. (2006) 'Generalized h-index for Disclosing Latent Facts in Citation Networks'.

Siles–Castellano, A.B. *et al.* (2020) '**Comparative analysis of phytotoxicity and compost quality in industrial composting facilities processing different organic wastes**', *Journal of Cleaner Production*, 252, p. 119820. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820>.

Sillanpää, M. *et al.* (2018) '**Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review**', *Chemosphere*, 190, pp. 54–71. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>.

da Silva Souza, T. *et al.* (2020) '**Toxic potential of sewage sludge: Histopathological effects on soil and aquatic bioindicators**', *Ecological Indicators*, 111, p. 105980. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105980>.

Simonich, S.L. *et al.* (2000) 'Trace Analysis of Fragrance Materials in Wastewater and Treated Wastewater', *Environmental Science & Technology*, 34(6), pp. 959–965. Available at: <https://doi.org/10.1021/es991018g>.

Singh, R.P. and Agrawal, M. (2008) 'Potential benefits and risks of land application of sewage sludge', *Waste Management*, 28(2), pp. 347–358. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>.

Singh, S. *et al.* (2020) 'A sustainable paradigm of sewage sludge biochar: Valorization, opportunities, challenges and future prospects', *Journal of Cleaner Production*, 269, p. 122259. Available at: <https://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), pp. 142–156. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>.

Solano López, E. *et al.* (2009) 'La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada.', *MediSur* [Preprint]. Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2009000400011&lng=es&tlng=es (Accessed: 14 February 2023).

Stunda-Zujeva, A., Kreicbergs, I. and Medne, O. (2018) 'Sustainable Utilization of Sewage Sludge: Review of Technologies', *Key Engineering Materials*, 762, pp. 121–125. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.762.121>.

Świątczak, P. and Cydzik-Kwiatkowska, A. (2018) 'Performance and microbial characteristics of biomass in a full-scale aerobic granular sludge wastewater treatment plant', *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), pp. 1655–1669. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0615-9>.

Świerczek, L., Cieślik, B.M. and Konieczka, P. (2018) 'The potential of raw sewage sludge in construction industry – A review', *Journal of Cleaner Production*, 200, pp. 342–356. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.188>.

Tandukar, M. *et al.* (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), pp. 323–9.

Tena, M. *et al.* (2020) 'Enhanced hydrogen production from sewage sludge by cofermentation with wine vinasse', *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), pp. 15977–15984. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.075>.

Tesfamariam, E.H. *et al.* (2020) 'Cost–Benefit Analysis of Municipal Sludge as a Low-Grade Nutrient Source: A Case Study from South Africa', *Sustainability*, 12(23), p. 9950. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12239950>.

Theodoratos, P. *et al.* (2000) 'The use of municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activities', *Journal of Hazardous Materials*, 77(1–3), pp. 177–191. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00243-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00243-0).

Thornton, F.C. *et al.* (2000) 'Utilization of Waste Materials to Promote Hardwood Tree Growth', *Southern Journal of Applied Forestry*, 24(4), pp. 230–237. Available at: <https://doi.org/10.1093/sjaf/24.4.230>.

Tong, M. *et al.* (2020) 'Magnetic Fe₃O₄-deposited flower-like MoS₂ nanocomposites for the Fenton-like Escherichia coli disinfection and diclofenac degradation', *Journal of Hazardous Materials*, 385, p. 121604. Available at: <https://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.

Tudorachi, N. *et al.* (2000) 'Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials', *Polymer Testing*, 19(7), pp. 785–799. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(99\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(99)00049-5).

Turek, V. *et al.* (2018) '**Proposed EU legislation to force changes in sewage sludge disposal: A case study**', *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 12(4), pp. 660–669. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11705-018-1773-0>.

Tyagi, V.K. *et al.* (2018) '**Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges**', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, pp. 380–399. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.051>.

Valentino, F. *et al.* (2017) '**Carbon recovery from wastewater through bioconversion into biodegradable polymers**', *New Biotechnology*, 37, pp. 9–23. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.05.007>.

Vergine, P. *et al.* (2018) '**Sludge cake and biofilm formation as valuable tools in wastewater treatment by coupling Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS) with Self Forming Dynamic Membrane BioReactors (SFD-MBR)**', *Bioresource Technology*, 268, pp. 121–127. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.120>.

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), pp. 610–626. Available at: <https://doi.org/10.2175/193864708788806872>.

Villalobos-Delgado, F.J. *et al.* (2021a) '**Efficient and sustainable recovery of lipids from sewage sludge using ethyl esters of volatile fatty acids as sustainable extracting solvent**', *Fuel*, 295, p. 120630. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120630>.

Villalobos-Delgado, F.J. *et al.* (2021b) '**Efficient and sustainable recovery of lipids from sewage sludge using ethyl esters of volatile fatty acids as sustainable extracting solvent**', *Fuel*, 295, p. 120630. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120630>.

Wang, C. *et al.* (2003) '**Ecotoxicological and chemical characterization of selected treatment process effluents of municipal sewage treatment plant**', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(2), pp. 211–217. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00121-5](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00121-5).

Wang, D. *et al.* (2018) **'Treatment of municipal sewage with low carbon-to-nitrogen ratio via a novel integrated process'**, *Chemical Engineering Journal*, 341, pp. 58–64. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.02.011>.

Wang, G. *et al.* (2020) **'Regeneration of Fe(II) from Fenton-derived ferric sludge using a novel biocathode'**, *Bioresource Technology*, 318, p. 124195. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124195>.

Wang, J. and Wang, S. (2019) **'Preparation, modification and environmental application of biochar: A review'**, *Journal of Cleaner Production*, 227, pp. 1002–1022. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>.

Wang, Jianlong and Wang, Jiazhao (2007) **'Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review'**, *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), pp. 2–7. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.027>.

Wang, Q., Li, J. and 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, pp. 587–596. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.193>.

Wang, T. *et al.* (2018) **'A review of the hydrothermal carbonization of biomass waste for hydrochar formation: Process conditions, fundamentals, and physicochemical properties'**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, pp. 223–247. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.071>.

Wilfert, P. *et al.* (2018) **'Vivianite as the main phosphate mineral in digested sewage sludge and its role for phosphate recovery'**, *Water Research*, 144, pp. 312–321. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.020>.

Wu, Y. *et al.* (2018) **'Treatment of municipal sludge by Fenton oxidation combined vacuum preloading'**, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), pp. 15990–15997. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1736-5>.

Xia, Y. *et al.* (2020) 'Enhanced phosphorus availability and heavy metal removal by chlorination during sewage sludge pyrolysis', *Journal of Hazardous Materials*, 382, p. 121110. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121110>.

Xie, W.-M. *et al.* (2011) 'Simulation and optimization of a full-scale Carrousel oxidation ditch plant for municipal wastewater treatment', *Biochemical Engineering Journal*, 56(1–2), pp. 9–16. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.04.010>.

Xiong, J. *et al.* (2018) 'Mature landfill leachate treatment by the MBBR inoculated with biocarriers from a municipal wastewater treatment plant', *Process Safety and Environmental Protection*, 119, pp. 304–310. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.08.019>.

Xu, W. *et al.* (2014) 'The utilization of lime-dried sludge as resource for producing cement', *Journal of Cleaner Production*, 83, pp. 286–293. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.070>.

Yan, M., Afxentiou, N. and Fokaides, P.A. (2021a) 'The State of the Art Overview of the Biomass Gasification Technology', *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 8(4), pp. 282–295. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00196-2>.

Yan, M., Afxentiou, N. and Fokaides, P.A. (2021b) 'The State of the Art Overview of the Biomass Gasification Technology', *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 8(4), pp. 282–295. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00196-2>.

Yang, Q. *et al.* (2007) 'Nitrogen Removal via Nitrite from Municipal Wastewater at Low Temperatures using Real-Time Control to Optimize Nitrifying Communities', *Environmental Science & Technology*, 41(23), pp. 8159–8164. Available at: <https://doi.org/10.1021/es070850f>.

Yang, W., Cai, C. and Dai, X. (2020) 'The potential exposure and transmission risk of SARS-CoV-2 through sludge treatment and disposal', *Resources, Conservation and Recycling*, 162, p. 105043. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105043>.

Záleská, M. *et al.* (2018) '**Biomass ash-based mineral admixture prepared from municipal sewage sludge and its application in cement composites**', *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(1), pp. 159–171. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1465-3>.

Zeng, X. *et al.* (2010) '**Occurrence and distribution of polycyclic aromatic carbons in sludges from wastewater treatment plants in Guangdong, China**', *Environmental Monitoring and Assessment*, 169(1–4), pp. 89–100. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1153-9>.

Zhang, H. *et al.* (2020) '**Production of biochar from waste sludge/leaf for fast and efficient removal of diclofenac**', *Journal of Molecular Liquids*, 299, p. 112193. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112193>.

Zhang, X., Chen, J. and Li, J. (2020) '**The removal of microplastics in the wastewater treatment process and their potential impact on anaerobic digestion due to pollutants association**', *Chemosphere*, 251, p. 126360. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126360>.

Zhang, Z. and Chen, Y. (2020) '**Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review**', *Chemical Engineering Journal*, 382, p. 122955. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122955>.

Zhao, B. *et al.* (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, pp. 375–383. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.032>.

Zhao, J. *et al.* (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, p. 123748. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123748>.

Zhao, Q. *et al.* (2021) '**Sewage sludge application alters the composition and co-occurrence pattern of the soil bacterial community in southern China forestlands**', *Applied Soil Ecology*, 157, p. 103744. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103744>.

Zhao, W. *et al.* (2019) '**Nutrient removal and microbial community structure variation in the two-sludge system treating low carbon/nitrogen domestic wastewater**', *Bioresource Technology*, 294, p. 122161. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122161>.

Zhao, X. *et al.* (2018) '**Evaluation of revolving algae biofilm reactors for nutrients and metals removal from sludge thickening supernatant in a municipal wastewater treatment facility**', *Water Research*, 143, pp. 467–478. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.001>.

Zheng, G. *et al.* (2019) '**Importance of sludge conditioning in attenuating antibiotic resistance: Removal of antibiotic resistance genes by bioleaching and chemical conditioning with Fe[III]/CaO**', *Water Research*, 152, pp. 61–73. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.053>.

Zheng, T. *et al.* (2017a) '**Benchmarking the scientific research on wastewater-energy nexus by using bibliometric analysis**', *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35), pp. 27613–27630. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0696-5>.

Zheng, T. *et al.* (2018) '**State of the art on granular sludge by using bibliometric analysis**', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(8), pp. 3453–3473. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8844-5>.

Zorita, S., Mårtensson, L. and 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), pp. 2760–2770. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.030>.