



Universidad **César Vallejo**

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

**Métodos biotecnológicos de control de hedores en plantas de
valorización de residuos sólidos orgánicos: una revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Hipolito Quispe, Randy Ronald (orcid.org/0000-0001-8095-5437)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (orcid.org/0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2022

Dedicatoria

A mis padres y a todas aquellas personas que me ayudaron a culminar mis estudios de carrera.

Agradecimiento

A los maestros de la carrera de quienes recibí su conocimiento y en especial al Dr. Fernando Sernaque por la consideración y paciencia en asesorar esta tesis.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Métodos Biotecnológicos de Control de Hedores en Plantas de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos: Una Revisión Sistemática

", cuyo autor es HIPOLITO QUISPE RANDY RONALD, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

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

LIMA, 12 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO DNI: 07268863 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 16- 07-2022 13:46:25

Código documento Trilce: TRI - 0339911





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, HIPOLITO QUISPE RANDY RONALD estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Métodos Biotecnológicos de Control de Hedores en Plantas de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos: Una Revisión Sistemática

", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

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

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

Nombres y Apellidos	Firma
HIPOLITO QUISPE RANDY RONALD DNI: 41771934 ORCID: 0000-0001-8095-5437	Firmado electrónicamente por: HIPOLITOQ el 19-07- 2022 16:45:32

Código documento Trilce: INV - 0908804



Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iv
Declaratoria de originalidad del autor.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	viii
Índice de gráficos y figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstracst.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	2
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	11
3.3 Escenario de estudio.....	11
3.4 Participantes.....	11
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.6 Procedimiento.....	12
3.7 Rigor científico.....	13
3.8 Método de análisis de datos.....	14
3.9 Aspectos éticos.....	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
V. CONCLUSIONES.....	30
VI. RECOMENDACIONES.....	31

REFERENCIAS.....32

ANEXOS

Índice de tablas

Tabla 1. Características, ventajas y desventajas de las técnicas de mitigación de olores.

Tabla 2. Eficacia media de la remoción de contaminantes malolientes mediante diferentes técnicas de control.

Tabla 3. Compuestos de olores comunes en los residuos sólidos municipales (etapas aeróbica y/o anaeróbica).

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo de las referencias usadas

Resumen

La presente revisión sistemática tiene como objetivo determinar los métodos biotecnológicos de hedores en plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos, la metodología fue de tipo aplicada, con un enfoque cualitativo y diseño narrativo de tópicos, con respecto a la metodología se realizó una recopilación de artículos científicos de bases de datos como EBSCO, Science Direct, Scopus, Scielo; así mismo la selección de las investigaciones fueron en referencia a criterios de inclusión y exclusión abarcando 35 artículos de revistas publicadas desde el año 2012. Se concluye que los métodos biotecnológicos de hedores poseen un alto potencial de eficacia, con tasas de remoción y eficiencias altas principalmente para el amoniaco, sulfuro de hidrógeno, metano y algunas cetonas.

Palabras clave: residuos sólidos orgánicos, métodos de control, hedores, contaminación, plantas de valorización.

Abstract

The present systematic review aims to determine the biotechnological methods of stench in organic solid waste valorization plants, its methodology was of applied type, with a qualitative approach, and narrative design of topics, with respect to the methodology a collection of scientific articles from databases such as EBSCO, Science Direct, Scopus, Scielo was performed; likewise the selection of research were in reference to inclusion and exclusion criteria covering 35 articles from journals published since 2012. The conclusion is that biotechnological methods of odorant removal have a high potential efficacy, with high removal rates and high removal efficiencies mainly for ammonia, hydrogen sulfide, methane and some ketones.

Keywords: Organic solid wastes, control methods, odors, pollution, recovery plants

I. INTRODUCCIÓN

La mala gestión de los residuos sólidos es un problema mundial en términos de contaminación ambiental, sostenibilidad económica y la inclusión social que requiere una evaluación integrada y un enfoque holístico para su solución (Yang, et al. 2021). El aumento en la generación de residuos sólidos se debe básicamente a la creciente urbanización, lo cual incrementa la demanda de bienes y servicios (Tello-Rozas, 2015). A nivel mundial, el 70% del volumen generado de los residuos sólidos urbanos que se generan en hogares, instituciones y comercios está compuesto de materia orgánica (INEI, 2020).

A nivel nacional se generan alrededor de 18 mil toneladas de residuos sólidos diarios, de los cuales el 58.75% son residuos orgánicos que no son valorizados, descomponiéndose naturalmente y emitiendo gases de efecto invernadero a la atmósfera (Lozano, et al. 2020). En Lima, el 40,6% de los residuos sólidos municipales, son depositados en rellenos sanitarios, el 46,50% en botaderos, siendo el 5,7% de los residuos reciclados, el 5,2% son quemados y solo un 0,2% son compostados (INEI, 2019). Por lo que, con el aumento de la población y la expansión horizontal de la ciudad, resulta insostenible construir nuevos rellenos sanitarios para una adecuada disposición final de los residuos sólidos, así como plantas de valorización (Nassour, et al. 2018).

Los hedores que generan las plantas de valorización se están convirtiendo en una preocupación creciente para los operarios de las plantas de valorización, vertederos y áreas de compostaje, además de enfrentarse a regulaciones que se vuelven más estrictas (Mahin, 2001). La continua exposición a estos hedores se denomina contaminación odorífera (Ministerio de salud de Colombia, 2012), y puede generarse en los principales procesos de operaciones. Existe una gran variedad de métodos que ayudan a controlar los olores desde las diferentes fases de los procesos en las plantas de valorización, algunos como la adsorción de carbón activado, adsorción en depuradores, la oxidación térmica o catalítica, la condensación y la biofiltración (Burgess et al., 2001). Así mismo también se tiene como una nueva alternativa el uso de productos de aplicación superficial y/o tratamiento con espray de aire a las emisiones (Lewicki, 2000) los cuales

son productos que neutralizan, enmascaran y son agentes de absorción a base de surfactantes (EA, 2002), el uso del agente dependerá de las propiedades de los hedores (Bouzalakos, 2014). Al no tener un control de los hedores se pueden presentar problemas de salud en la población como: mareos, pérdida de apetito, dolores de cabeza, estrés, entre otros (Cortel. 2018).

Con la finalidad de poder enmarcar la investigación se ha planteado como problema general: ¿En qué consisten los métodos biotecnológicos de control de hedores en las plantas de valorización de residuos sólidos? y como problemas específicos se tiene: ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores? ¿Cuáles son las tasas de remoción de contaminantes del método biotecnológico de control de hedores más empleado? y ¿Cuáles son los contaminantes comunes presentes en los hedores de los residuos sólidos orgánicos? Esta investigación tiene como justificación teórica: aportar al conocimiento científico y a su vez llenar vacíos cognoscitivos que ya existan de las técnicas biotecnológicas de control de hedores en las plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos, ayudar a crear un marco de referencia que sirva como guía para la toma de decisiones sobre el método biotecnológico adecuado de control de hedores a aplicar, y reseñar enfoques variados en cuanto a los métodos biotecnológicos (Carrasco, 2012).

Como objetivo general se tiene: describir los métodos biotecnológicos de control de hedores en las plantas de valorización de residuos sólidos; y los objetivos específicos son: describir las ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores, describir las tasas de remoción de contaminantes del método biotecnológico de control de hedores más empleado y describir los compuestos químicos comunes presentes en los hedores de los residuos sólidos orgánicos.

II. MARCO TEÓRICO

Han, et al. (2020) analizaron y compararon la eficacia y el funcionamiento de biofiltros para controlar los hedores y compuestos orgánicos volátiles emitidos en dos zonas de tratamiento de lixiviados en un vertedero. El mecanismo consistía en que los gases residuales de la película de polietileno de alta densidad se recogían mediante tuberías y se bombeaban al biofiltro con una bomba de aire, los investigadores establecieron cinco puntos de muestreo en cada biofiltro para el control y análisis bacteriano/químico. Las bacterias en mayor cantidad de un *biorreactor* enriquecido se emplearon como inóculos en los biofiltros estudiados para acortar el tiempo de operación de estos. Los resultados arrojaron que la tasa media de eliminación de los compuestos orgánicos volátiles, los sulfuros y las aminas en ambos biofiltros superó el 80%; en los inóculos, el género bacteriano dominante fue *Brevibacillus* con 58,84%, y las bacterias con *Bacillus* y *Pseudomonas* ocuparon el 2,67% y el 1,77% respectivamente.

Wan, et al. (2016) investigaron las condiciones de proceso y los factores de influencia para el biotratamiento de gases odoríferos de hidrógeno de sulfuro y amoníaco. El proceso de degradación de H_2S y NH_3 fue analizado durante el inicio y desarrollo del funcionamiento del biofiltro con ceramsita y microorganismos de relleno. Los resultados mostraron que la formación de la biomembrana del sistema del biofiltro para purificar el H_2S residual se realizó en nueve días y la tasa de remoción de H_2S pudo alcanzar el 99% con la concentración inicial de 100-1000 mg/m^3 y el tiempo de permanencia del lecho vacío fue de 142-290 s.

Wright, et al. (2020) afirman que las técnicas de depuración de olores se clasifican en tres clases: las de tipo químico (de oxidación térmica y catalítica, además de la ozonización), las de tipo físico (empleando la condensación, adsorción y absorción) y las de tipo biológico (usando sistema de biofiltros como los *biotrickling*, *bioscrubbers* y otros tipos). De acuerdo a estos investigadores, la ventaja principal de los tratamientos biológicos sobre los tratamientos físicos y químicos es que los procesos biológicos se desarrollan en rangos de

temperatura de 10-50°C y a presión atmosférica en condiciones normales. Asimismo, el proceso la degradación microbiana es oxidativo, produciendo compuestos como CO₂, H₂O, nitratos y sulfatos.

Affek, et al. (2021) tuvieron como objetivo eliminar los principales contaminantes de los gases residuales de una planta de tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos urbanos, para ello emplearon un biofiltro con un lecho a base de astillas, corteza de pino y compost de residuos orgánicos. Los efectos de los dos tipos de materiales del lecho en la emisión de bioaerosoles de los biofiltros fueron estimados sobre la base de la abundancia microbiana en los gases y los lechos, donde los resultados mostraron que ambos materiales de lecho favorecieron el crecimiento microbiano y un número elevado (106-108 ufc/g de masa seca) de bacterias y hongos cultivables en los lechos. Los sistemas de depuración biofiltros disminuyeron las emisiones de bioaerosoles de los establecimientos industriales, esto es según el contenido de microorganismos presente en los gases.

Cheng, et al. (2021) estudiaron la eficiencia de células aeróbicas con el objetivo de disminuir la emisión de NH₃ y H₂S en la elaboración de compost de lodos procedentes de depuradoras y mezclados con paja. Durante los 30 días de aireación del compostaje a escala de laboratorio, la adición de un cultivo de 200 ml redujo las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en un 38,00% y un 54,32%.54,32%, y conservó el nitrógeno total y el sulfato en un 39,42% y un 70,75%, respectivamente. En comparación con el control, el contenido de nitratos aumentó un 38,75% al final del compostaje. La bioaumentación igualó la distribución de las bacterias en fase termófila. El cambio se debió principalmente al aumento del 22,97% de las proteobacterias y del 157,16% de los bacteroidetes, que beneficiaron la conservación del nitrógeno y la descomposición de los glicanos, respectivamente.

Pecorini, et al. (2021) examinaron dos sistemas de biofiltración: el de tipo biofiltro y el de las biomembranas. Se investigo la disminución de las emisiones de CH₄, compuestos orgánicos volátiles (COVs) no metánicos y hedores durante dos años. Asimismo se estudió el metano diluido y se descubrió la

presencia de más de 60 COVs no metánicos en el gas ingresante al vertedero y aquellos compuestos de azufre arrojaron los mayores valores de actividad. Tanto el sistema de biofiltro como el de las biomembranas fueron eficientes en la oxidación del metano (67 y 85 % respectivamente), para la disminución de los COVs no metánicos (por encima del 80%) y para la disminución de los hedores (98 y 92% respectivamente). En lo que respecta al desarrollo de la operación del biofiltro, con una eficacia de oxidación del 70%, la carga de CH_4 debe ser inferior a 6,8 g con una tasa de oxidación de 5,4 g .

Liu, et al. (2020) pusieron a prueba dos biodepuradores -uno con potencial de hidrogeno bajo y el otro neutro- a nivel experimental para el procesamiento de compuestos gaseosos con presencia de H_2S , NH_3 , y otros en un periodo de 205 días. Teniendo como resultado que el biofiltro de bajo potencial de hidrogeno mostro un mayor grado de remoción para el H_2S y el tolueno (rango de 99,24% y 99,90% respectivamente), mientras que el biofiltro de potencial de hidrogeno neutro obtuvo mayor grado de eliminación de NH_3 y ácido acético (rango de 99,90% y 99,92% respectivamente). La medición de la concentración de compuestos derivados de carbono mostro la depuración de la comunidad microbiana dominante de ácido acético.

Bin, et al. (2017) realizaron una prueba para analizar las características de la concentración de hedor y la composición de los compuestos orgánicos volátiles (COV) del proceso de compostaje de cerdos muertos. Se optimizaron los parámetros clave del proceso de biofiltración para la eliminación de los COV – entre ellos el tiempo de residencia-. En el proceso de compostaje de cerdos muertos se emitieron 37 tipos de COV, entre los cuales los principales fueron la trimetilamina, el sulfuro de dimetilo, el disulfuro de dimetilo y el trisulfuro de dimetilo. La eficiencia de eliminación de los principales componentes causantes de hedor de los COV por el método de biofiltración -en condiciones de tiempo de residencia de 30-100 s- fue superior al 90%; la eficiencia de eliminación de los principales componentes causantes de hedor de los COV en condiciones de tiempo de residencia de 60-100 s fue del 82,2%.

Yu, et al. (2019) establecieron la eficacia de depuración de los hedores con el la técnica biológica y compuesta de gases residuales en cuatro establecimientos con diversos niveles de humedad. Como resultado, se obtuvo que el cuarto establecimiento de depuración obtuvo la más alta eficacia de depuración de NH_3 , H_2S , tolueno y metilmercaptano, con un rango de 97% y 100%. Y los valores obtenidos de la prueba de campo presentaron que la menor depuración de metilmercaptano del biofiltro fue de 17,20% -esto antes de sustituir el filtro-, y luego de modificar el filtro se obtuvo el 100%. Además de la eficacia de depuración del NH_3 se incrementó el valor de 37,24 % al 89,53 % y del H_2S de 25,04% al 87,05%.

Huy, et al. (2020) estudiaron dos sistemas de biofiltración a escala de laboratorio. El flujo de gas oloroso se creó mediante el compostaje de residuos sólidos vegetales que contenían bajas concentraciones de NH_3 y de H_2S en condiciones estables. Con el tipo de biofiltro se empleó compost tipo comercial y estiércol de vaca para la capa de sustrato. Para el modelo de biofiltro percolador se utilizó un medio biológico con una biopelícula desarrollada por contacto con lodos activados como material de relleno. Entre las capas de los sustratos, el estiércol de vacuno produjo la mejor eficacia de depuración de hedores de valores por encima e iguales a 90% en la etapa estable con una capacidad de depuración de alrededor de $0,05 \text{ g/m}^3 \text{ h}^{-1}$ de NH_3 y $0,22 \text{ g/m}^3 \text{ h}^{-1}$ de H_2S . Los resultados de la investigación arrojan muestran un desempeño alto del biofiltro con estiércol de ganado vacuno el control de H_2S y NH_3 .

Dong, et al. (2017) utilizaron la técnica de tipo biofiltración para tratar el gas maloliente NH_3 producido al compostar residuos, dicha técnica es capaz de depurar eficientemente los gases con un valor alto de depuración de NH_3 . Una semana después del experimento de eliminación de amoníaco se detectó que la tasa de eliminación era de alrededor del 79,3%; y 24 días después del experimento la tasa de eliminación se estabilizó en torno al 98%. Una vez aplicada la prueba del valor de potencial de hidrogeno de la solución nutriente se verifico que el cambio del valor del potencial de hidrogeno concuerda con el incremento del valor de la tasa de depuración.

Vela-Aparicio, et al. (2017) estudiaron la filtración biológica de H₂S y NH₃ mediante la comparación de tres mezclas previamente compostadas de estiércol de gallinas y de residuos tipo lignocelulósicos empleados como material de saturamiento. En un sistema de biofiltración, realizado a escala de laboratorio, se utilizó concentraciones de gas similares a las de una planta de tratamiento de aguas municipales. Los valores de la prueba indicaron que con concentraciones bajas de H₂S (5-30 ppm) y NH₃ (0-2 ppm) los tres biofiltros mostraron una eficiencia de eliminación del 100% y para niveles máximos de concentraciones de gas de H₂S (250 ppm) y NH₃ (19 ppm); mientras que la eficacia de eliminación del H₂S siguió siendo superior al 90% en todos los casos, la eficacia de eliminación del NH₃ sólo se mantuvo por encima del 90% en el biofiltro de bagazo de caña de azúcar. En conclusión, la mezcla de bagazo de caña de azúcar tuvo la mayor eficiencia de eliminación,

Galwa-Widera, et al. (2019) tuvieron como objetivo principal la eliminación de los olores de origen inorgánico (sulfuro de hidrógeno y amoníaco) generados durante el compostaje de residuos municipales. El biorreactor constaba de siete módulos, cada cámara con una capacidad de trabajo de 25 m³. El llenado de las cámaras de reacción en la fase inicial era de aproximadamente el 80%. El biorreactor estuvo aislado térmicamente y permitió airear y rociar la mezcla de compost. Se supervisó el curso del proceso en términos de temperatura, cantidad de aire suministrado, pH y humedad.

Ibanga, et al. (2018) investigaron el rendimiento de cuatro sistemas de biofiltros para la depuración de bioaerosoles presentes en los residuos de una instalación de reciclaje. Se utilizó un aparato muestreador para medir las concentraciones de cuatro grupos de bioaerosoles presentes en la corriente de aire, antes y después de pasar por los biofiltros durante un periodo de 11 meses. Los sistemas de biofiltros alcanzaron una eficiencia de depuración de alrededor de 60% para *Aspergillus fumigatus*, 70% para el total de hongos, 68% para las bacterias mesófilas y 49% para las bacterias gram negativas. El rendimiento fue muy variable a baja concentración de entrada, con algunos casos que mostraban un aumento de las concentraciones de salida, lo que

sugiere que los biofiltros tienen el potencial de ser emisores netos de bioaerosoles

Los residuos sólidos orgánicos municipales son todo objeto, material, sustancia o elemento en fase sólida o semisólida provenientes de los mercados, domicilios y del mantenimiento de áreas verdes (MINAM, 2016) (MINAM, 2017).

Los elementos constituyentes del hedor emitido por los establecimientos de depuración de residuos sólidos pueden cambiar significativamente de una zona a otra, esto según el tipo de residuo tratado, la técnica de depuración usada, la etapa de descomposición, así como el estado de desarrollo de las operaciones y el clima donde se encuentran los establecimientos (Charles, G. Ho 2017).

Estos gases malolientes son producidos por sistemas ineficaces de recolección del flujo de aire agotado, la falta de eliminación en zona donde se producen dichas emisiones, la operación inadecuada de la zona de oxidación tipo biológica junto a la formación de áreas anaerobias y a los sistemas adoptados que son inadecuados para la depuración de los hedores (Canovai, et al. 2007). Los compuestos constituyentes del mal olor como NH_3 y H_2S pueden ser emitidos por el tratamiento de lixiviados, esto gracias a la gran cantidad de componentes orgánicos presentes.

Chung, et al. (2006) argumentan que métodos como el compostaje transforman varios compuestos constituyentes de los residuos en elementos estables -relativamente- que podrían usarse al fertilizar el suelo. Sin embargo, este método puede también tener un impacto negativo sobre el medio ambiente mediante la generación de emisiones gaseosas malolientes concretamente.

Los métodos de tratamiento biológico utilizan el potencial natural de los microorganismos para descomponer los contaminantes. En comparación con otros métodos físicos y químicos, tienen la ventaja de eliminar varias impurezas (contaminantes), incluso si se encuentran en una mezcla de gases (Manczarski, et al. 2019). La degradación biológica ocurre por actividad de los microorganismos que son determinados según el tipo de componente constituyente a eliminar de la corriente de gas. De este modo como aseguran Lin, et al. (2015) los microorganismos obtienen energía y metabolitos

indispensables para sus procesos vitales. Dependiendo del método para llevar a cabo el biotratamiento de gases, los microorganismos pueden estar en suspensión en el sorbente (*bioscrubbers*) o puestos en la superficie de un medio sólido (biofiltros).

Los biofiltros forman parte del método de eliminación de contaminantes mediante el uso de microorganismos que se desarrollan en el empaque del filtro (material sólido y poroso). En la superficie del material poroso se desarrolla una comunidad microbiana que constituye el interior del filtro, además de formar una biopelícula como afirman Lebrero et al. (2013). Dicho método es el de mayor uso y antigüedad en los establecimientos de depuración de residuos sólidos; se fundamenta en un tipo de biorreactor con una capa contenedora constante por donde fluye el gas residual y donde también atraviesa una capa de comunidad microbiana aptos y perennes en las paredes del sistema.

En el caso de los filtros que emplean la biopercolación, el material constituyente está formado de elementos de naturaleza inorgánica como piedras, material plástico o de espuma, y una etapa acuosa, dicho material se traslada constantemente por goteo sobre los elementos que forman la capa de relleno, tal como aseveran Lelicińska-Serafin, et al (2015). Dado que los materiales inorgánicos generalmente carecen de una población microbiana autóctona se precisa la inoculación de lodos de aguas residuales, compost, cultivos acondicionados, etcétera. Dengchao, et al. (2017) afirman que, pasado un tiempo de la prueba de operación, el flujo de aire residual pasa por la capa de relleno y traslada los elementos causantes del gas maloliente al sistema de agua de goteo, o directamente a la capa orgánica localizada en el material de encapsulamiento, al mismo tiempo que se recoge una mezcla acuosa sobre cuya finalidad es proporcionar refrigeración y alimentación a la comunidad microbiana inmovilizada.

Fan, et al. (2020) sostienen que un biodepurador es un sistema de eliminación de olores en dos etapas. La primera fase consta de una franja donde se absorbe físicamente un flujo de aire residual, el cual se pondrá en una zona de absorción física en la que una corriente de aire residual de entrada conecta con agua en un compartimento de atomización o una columna de lecho fijo que contiene un

material de encapsulamiento constante. Los COVs y los compuestos causantes del mal olor son transferidos de la etapa gaseosa a una líquida. Gabriel, et al (2004) afirman que el aire limpio se libera a la atmósfera desde el depurador. El agua con los contaminantes en disolución es tratada a depuración en un biorreactor en la segunda fase.

Los biorreactores de membrana es un tipo de biotecnología que consiste en que los concentrados gaseosos se trasladan por la interfaz gas-líquido a través de la membrana y se degradan en la biopelícula adherida al reverso de la membrana (Hu, et al. 2015). Normalmente los contaminantes constituyentes (los cuales son fuentes de carbono) y el O₂ se trasladan a la película formada de tipo biológica procedente de la etapa gaseosa en tanto que los nutrientes y el H₂O se entregan en la etapa líquida. Iranpour, et al. (2015) agregan que la membrana funciona como interfaz entre la fase gaseosa y la fase líquida y provee el sustento para el desarrollo de los microorganismos necesarios para la biodegradación de los contaminantes.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada ya que se dirige a plantear soluciones y respuestas a problemas apoyándose en la tecnología, procedimientos y el conocimiento científico (CONCYTEC 2018), asimismo detalla situaciones reales –satisfacción de una necesidad específica- (Vargas 2009) que facilitaran innovaciones en las técnicas de mitigación de olores de residuos.

El diseño tiene un enfoque cualitativo narrativo de tópicos lo que permite al investigador recopilar información existente y así analizar y comparar los datos de las investigaciones precedentes (Hernández 2015).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

La matriz de categorización se encuentra en el Anexo N° 1

3.3 Escenario de estudio

Respecto a este punto, esta revisión estuvo constituido por aquellos artículos científicos que tratan sobre los métodos biotecnológicos de control de olores en plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos para lo cual se consideraron estudios descriptivos correlaciones, experimentales y proyectivos hechos en diversos países del mundo.

3.4 Participantes

En esta investigación los participantes están conformados por las fuentes de información como los artículos de revistas indexadas de ScienceDirect, Scopus, Scielo y Elsevier, puesto que estos buscadores y bases de datos contienen muchos artículos que pasaron por estándares de calidad de revisiones; por dicha razón se les considera artículos electrónicos indexados

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio la técnica de recolección de datos será el análisis documental, el cual tiene por objetivo recaudar objetivamente información

de artículos que serán empleados en el estudio lo que posibilitara una búsqueda más rápida y clara según Hernández, et al. (2016). El instrumento de recolección de datos será la ficha de análisis (Ver Anexo N°2) en el cual quedarán consignadas la información sobre el contenido de los datos del autor, año y lugar de publicación, el código de la fuente del artículo, resultado, conclusiones, etcétera.

3.6 Procedimientos

En la búsqueda de información se emplearon palabras claves para la definición de artículos las cuales son: “organic solid wastes” and “odors” and “control methods” and “pollution” and “recovery plants”. Se emplearon bases de datos para obtener los recursos digitales como Scopus (n=69), Scielo (n=2), Science Direct (n=8), Elsevier (n=4); de donde el total de artículos encontrados fueron n=83. Para obtener dicha información seleccionada se consideraron criterios de exclusión que fueron: tesis, artículos anteriores al año 2012 e información irrelevante como lectura de resúmenes; y criterios de inclusión fueron: artículos del periodo 2012-2022, pertenecientes a revistas indexadas y de tipo de acceso abierto y cerrado. Luego de aplicar los criterios de exclusión e inclusión se obtuvieron 35 artículos (N=35), previamente evaluados pertenecientes a Scopus (n=29), Science Direct (n=5), Elsevier (n=1), todos ellos en lengua inglesa.

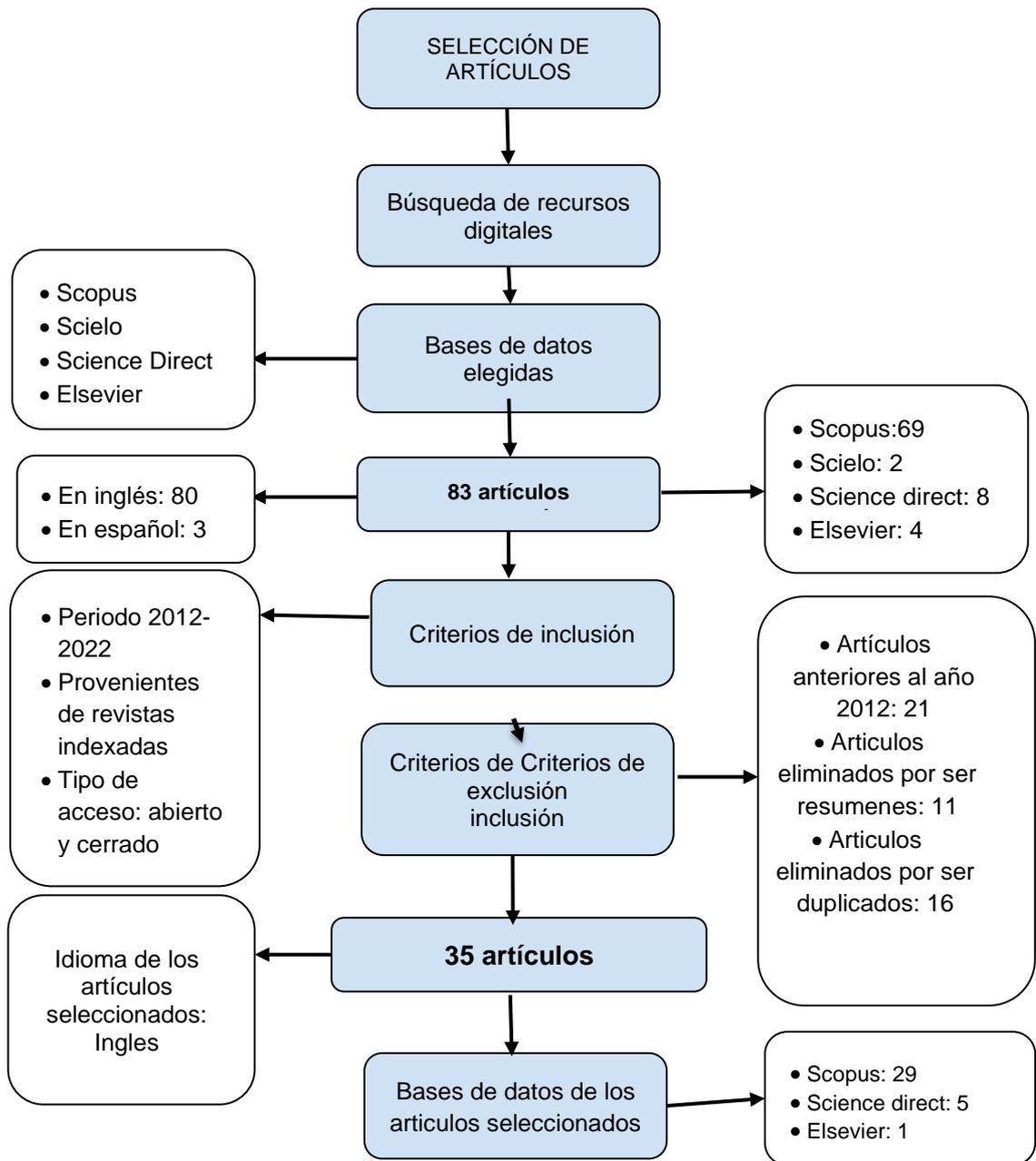


Figura 1: Diagrama de flujo de las referencias usadas (elaboración propia)

3.7 Rigor científico

La presente revisión sistemática cuenta con rigor científico, ya que existen trabajos de esta categoría relacionadas a las ciencias médicas, sociales y administrativas, por ende, esta investigación presenta respaldo en anteriores estudios. Además, cumple con los siguientes criterios:

- Criterio de dependencia, que se alcanza generalmente cuando los investigadores, para confirmar los hallazgos y revisar algunos datos particulares, vuelven a la información primaria durante la recolección de la información (Noreña 2015). Así, dicho criterio se aplica al mostrar mayor información en los resultados y en los antecedentes (referencias bibliográficas) y que podrá ser revisada y verificada.
- Criterio de credibilidad, en virtud de que se relaciona con la realidad lo que permite a su vez una trazabilidad de los resultados y conllevar a que los resultados obtenidos sean fiables e impecables sin haber conflictos entre los diferentes métodos (Castillo 2003). De esa manera, se aplica este criterio al emplear técnicas de análisis documental, lo que permite la extracción y análisis de datos de los antecedentes trabajados.
- Criterio de validez, exponiendo datos verdaderos y aumentando la probabilidad de que los datos hallados sean creíbles y fidedignos al elaborar una interpretación correcta en la redacción de los resultados (Parra, et al. 2016). Este criterio se cumple al redactar la discusión de los resultados de la revisión.
- Criterio de transferibilidad, tomando como base la información redactada de las diversas fuentes confiables y plasmándolas en nuevas investigaciones de perspectiva común (Jiménez 2013); esta revisión cumple dicho criterio al ser una investigación confiable y consistente en base a información extraída de otros estudios previos que han generado datos.

3.8 Métodos de análisis de la información

Se realizará diseñando una matriz de categorización en función al análisis de los objetivos (Ferreyro y Longhi 2014); sus categorías son dos: métodos biotecnológicos de control de olores en las plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos y contaminantes presentes en los olores.

Para el primer objetivo la categoría es: métodos biotecnológicos de control de olores en las plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos, siendo sus subcategorías: biofiltro, filtro biopercolador, biodepurador, biorreactor de membrana y biorreactor de partición de dos fases. Sus criterios son: de acuerdo a los parámetros de operación y de acuerdo al costo de implementación y diseño.

Para el segundo objetivo la categoría es: métodos biotecnológicos de control de olores en las plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos, siendo sus subcategorías: biofiltro, filtro biopercolador, biodepurador, biorreactor de membrana y biorreactor de partición de dos fases. Sus criterios son: de acuerdo al grado de humedad contenido y de acuerdo al lecho empleado

Para el tercer objetivo la categoría es: Contaminantes presentes en los olores, siendo sus subcategorías: etapa aeróbica y etapa anaeróbica. Sus criterios son: de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos de operación y de acuerdo a los parámetros biológicos de operación.

3.9 Aspectos éticos

La información brindada por la presente tesis es original cumpliendo de esta manera los lineamientos establecidos como son la guía de productos de investigación 2022, el reglamento de investigación, el código de ética, y el software Turnitin, así como la norma internacional ISO 690 para trabajos de ingeniería. Además, este estudio respeta la autoría de los artículos científicos al citar adecuadamente a los investigadores considerados en las fuentes de datos tomando en cuenta la redacción de las referencias de acuerdo al estilo ISO 690 mencionado anteriormente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al primer objetivo trazado “Describir las ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores” se tiene como resultados para la categoría “métodos biotecnológicos de control de hedores” lo reseñado en la tabla N° 2.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores

Métodos	Ventajas	Desventajas	Referencias
Biofiltración	<ul style="list-style-type: none"> • Costo bajo de inversión y operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control inadecuado de los procesos. 	Galwa-Widera, et al. (2019)
	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie amplia de gas-líquido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo alto de canalización del flujo de aire. 	Cheng, et al. (2021)
	<ul style="list-style-type: none"> • De fácil funcionamiento y puesta en marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los microbios de accionar lentos y selectivos descomponen productos orgánicos selectivos por lo que requieren un cultivo mixto de microbios. 	Liu, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere menos inversión inicial, menos residuos secundarios no dañinos y no peligrosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Goteo continuo en el empaque. 	Nhat Huy, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Control independiente de las fases gaseosa y líquida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie amplia de gas-líquido. 	Vela-Aparicio, et al. (2019)
			<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marcha dificultosa.

Filtros biopercolado-res	<ul style="list-style-type: none"> • Costo bajo de inversión y operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca superficie para la transferencia de masa. 	Cheng, et al. (2021)
	<ul style="list-style-type: none"> • De fácil funcionamiento y puesta en marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de canalización del flujo de aire. 	Pedros, et al. (2015)
	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de las condiciones de reacción (pH, nutrientes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación del exceso de lodo y lixiviados. 	Vela-Aparicio, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie amplia de gas-líquido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de la aplicación de nutrientes adecuados para los microorganismos. 	Yu, et al. (2019)
	<ul style="list-style-type: none"> • La valorización del residuo puede compensar los costes anuales de explotación 	<ul style="list-style-type: none"> • Goteo continuo en el empaque. 	Nhat Huy et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Biodepurador de dos reactores 	<ul style="list-style-type: none"> • Goteo continuo en el empaque 	Galwa-Widera, et al. (2019)
	<ul style="list-style-type: none"> • Control independiente de las fases gaseosa y líquida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marcha dificultosa. 	Schnelle, et al. 2015
	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa inmovilizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie amplia de gas-líquido. 	Tello - Rozas, et al. (2015)
	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa inmovilizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un mantenimiento riguroso. 	Nhat Huy, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de las condiciones de reacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión media a alta, de costes operativos en mantenimiento y 	Pecorini, et al. (2021)

Biodepurador	(pH, nutrientes).	funcionamiento.	
	• Es posible evitar la acumulación de productos secundarios.	• Poca superficie para la transferencia de masa.	Wan, et al. (2016)
	• Poca caída de presión.	• Lavado de microorganismos de crecimiento lento.	Osabutey, et al. (2022)
	• Requiere un mantenimiento riguroso	• Eliminación del exceso de lodo y lixiviados.	Andraskar, et al. (2021)
	• Requiere el pretratamiento de los compuestos orgánicos volátiles	• Puesta en marcha dificultosa.	Sironi, et al. (2007)
Biorreactores de membrana	• Control independiente de las fases gaseosa y líquida.	• Goteo continuo en el empaque.	Manczarski, et al. (2019)
	• No hay más tratamiento, la recuperación del disolvente puede compensar los costes de explotación.	• Las membranas son costosas y raras	Shang, et al. (2020)
	• La valorización del residuo puede compensar los costes anuales de explotación	• Puesta en marcha dificultosa.	Nassour, et al. (2017)
	• Es posible evitar la	• Fase acuosa móvil	Liu, et al. (2020)

	acumulación de productos secundarios.		
	<ul style="list-style-type: none"> • Separación física del gas y de la biopelícula, 	<ul style="list-style-type: none"> • En su mayoría biomasa suspendida 	Yang, et al. (2019)
Biorreactores de partición de dos fases	<ul style="list-style-type: none"> • Se lleva a cabo en temperaturas moderadas (10-40°C). Se lleva a cabo en temperaturas moderadas (10-40°C). 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe añadir compuestos como nitrógeno, fósforo, potasio, etc. 	Vela-Aparicio, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el pretratamiento de los compuestos orgánicos volátiles 	<ul style="list-style-type: none"> • La eficacia del tratamiento se ve reducida por el área de contacto especial de gas/líquido 	Shang, et al. (2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el pretratamiento de los compuestos orgánicos volátiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marcha dificultosa. 	Osabutey, et al. (2022)
	<ul style="list-style-type: none"> • Fase acuosa inmovilizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa inmovilizada 	Andraskar, et al. (2021)
	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de las condiciones de reacción (pH, nutrientes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación del exceso de lodo y lixiviados. 	Nhat Huy et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de tratamiento de lixiviados cualquier establecimiento de tratamiento de residuos que incluya operaciones mecánicas producirá

emisiones de bioaerosoles. Por ejemplo, la zona de aireación o agitación constituye la causa principal para la evasión de microbios y del fenómeno de aerosolización (Yang, et al. 2019). Las bacterias, los hongos, virus e iones solubles en agua en los bioaerosoles se propagarán ampliamente por el aire por lo que pueden causar graves daños al medio ambiente y la salud pública (Liu, et al. 2021).

Osabutey, et al. (2022) afirman que la biofiltración es capaz de eliminar compuestos poco solubles en agua de los gases y es una operación generalmente más sencilla y barata debido a la mayor diversidad de microorganismos que se encuentran en el material de relleno en comparación con otros métodos biológicos. Los biofiltros pueden aplicarse como sostienen Reyes, et al. (2020) en la eliminación tanto de compuestos orgánicos (alcoholes, cetonas, alcanos, derivados del benceno, hidrocarburos clorados, contaminantes alifáticos y aromáticos, aldehídos, ácidos orgánicos, aminas, glicoles, acetato de etilo, acetato de butilo, isobutanol, fenol) y compuestos inorgánicos (sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, sulfuro de metilo, amoníaco, óxido de nitrógeno).

La comunidad microbiana que se desarrolla en el depósito de la capa constante requiere una temperatura apropiada. Se debe considerar que no exista variaciones en la temperatura de los gases a depurar, ya que estos tienen influencia directa en la temperatura del depósito. El valor mínimo será de 30° C y el máximo de 40°C para un desarrollo adecuado de la comunidad microbiana (Han, et al. 2020).

La comunidad microbiana puede estar presente bajo dos maneras, una como cultivos de capa fija y otra como cultivos de crecimiento en forma de suspensión. La transmisión de los contaminantes a través de la membrana se debe a la diferencia que existe de concentración entre la fase gaseosa y la capa biológica. La fuerza motriz de la transferencia de masa está en función de la concentración a la cual se le disminuye la cantidad de contaminante en la etapa líquida, por lo que el valor de depuración en un sistema de biorreactor tipo membrana depende mayormente de la actividad microbiana (Padhi y Gokhale, 2014).

Chen, et al. (2016) sostienen que, si los gases a depurar tienen elementos que puedan degradarse y no tengan una toxicidad que impida el desarrollo de la comunidad microbiana, entonces el tratamiento de los olores es factible empleando técnicas biológicas. Los gases que se sometan a un tratamiento biológico deben contar con parámetros que aseguren la actividad biológica de los microorganismos (temperatura, pH, etc.). Aunque otros autores como Barbusinski, et al. (2017) afirman que, si efectúan las condiciones normales para una concentración media de contaminantes en el biorreactor, entonces los compuestos de naturaleza tóxica para la comunidad microbiana podrán ser tratados con métodos biológicos.

Asimismo, Wysocka, et al. (2019), refiere que la elección del método de desodorización adecuado depende de: las técnicas aplicadas en las plantas que valoricen un sustrato parecido, el volumen de las emisiones de olores, las características de los olores emitidos, el contenido total de los gases contaminantes y el conocimiento de la tecnología específica que se aplicará en la fuente de emisión.

Por otra parte, Kang, et al (2020), mencionan que la selección de una técnica apropiada para biodegradación de olores y sus componentes debe ser rigurosamente evaluado pues podría presentar implicancias significativas y consecuentemente en su desempeño; por tal razón, se sugiere elegir técnicas que operen al máximo el escape de los compuestos volátiles que producen el olor.

De acuerdo al primer objetivo trazado “Describir las tasas de remoción de contaminantes del método biotecnológico de control de olores más empleado” se tiene como resultados para la categoría “métodos biotecnológicos de control de olores” lo reseñado en la tabla N° 2.

Tabla 2. Tasas de remoción de contaminantes mediante métodos biotecnológicos de control

Métodos de control	Sulfuro de hidrógeno	Amoniaco	Sulfuros reducidos	Compuestos orgánicos volátiles	Referencias
--------------------	----------------------	----------	--------------------	--------------------------------	-------------

Biofiltración	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Scully, et al. (2019)
	45 - 87 %	56 - 89 %	83 - 92 %	86 - 91 %	Pecorini, et al. (2020)
	42 - 86 %	60 - 97 %	85 - 85 %	90 - 95 %	Han, et al. (2020)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	86 - 96 %	Manczarski, et al. (2019)
	46 - 88 %	62 - 97 %	87 - 92 %	92 - 95 %	Andraskar, et al. (2021)
	42 - 86 %	58 - 99 %	85 - 94 %	90 - 95 %	Schnelle, et al. 2015
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Manczarski, et al. (2019)
Filtros biopercoladores	45 - 86 %	59 - 94 %	85 - 92 %	90 - 99 %	Osabutey, et al. (2022)
	42 - 86 %	59 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Liu, et al. (2020)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Chen, et al. (2017)
	42 - 85 %	60 - 97 %	85 - 90 %	91 - 95 %	Pecorini, et al. (2020)
	41 - 86 %	62 - 98 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Nhat Huy, et al. (2020)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 97 %	90 - 95 %	Galda-Widera, et al. (2019)
	43 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	91 - 95 %	Nhat Huy et al. (2020)
	42 - 86 %	60 - 99 %	83 - 98 %	92 - 95 %	Shang, et al. (2020)

Biodepurador	45 - 91 %	65 - 95 %	86 - 90 %	91 - 95 %	Vela-Aparicio, et al. (2019)
	43 - 86 %	61 - 99 %	79 - 90 %	90 - 95 %	Tello - Rozas, et al. (2015)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 92 %	89 - 95 %	Yu, et al. (2019)
	51 - 86 %	58 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Osabutey, et al. (2022)
	45 - 86 %	60 - 99 %	90 - 92 %	92 - 95 %	Shang, et al. (2020)
	42 - 87 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Andraskar, et al. (2021)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Nassour, et al. (2017)
Biorreactores de membrana	60 - 90 %	74 - 80 %	90 - 95 %	95 - 99 %	Tello - Rozas, et al. (2015)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	80 - 95 %	Nhat Huy et al. (2020)
	42 - 79%	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Vela-Aparicio, et al. (2020)
	47 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	87 - 95 %	Schnelle, et al. 2015
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Liu, et al.(2020)
Biorreactores de partición de dos fases	65 - 90 %	75 - 95 %	90 - 95 %	86 - 99 %	Lin, et al. (2013)
	61 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	91 - 95 %	Sironi, et al. (2007)
	62 - 86 %	63 - 99 %	86 - 90 %	92 - 95 %	Nassour, et al. (2017)

	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Ibanga, et al. (2018)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Pedros, et al. (2015)
	42 - 86 %	60 - 99 %	85 - 90 %	90 - 95 %	Han, et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Para Lebrero et al. 2011, la eficiencia de eliminación de un gas oloroso mediante una biofiltración es generalmente satisfactoria bajo conjuntos de condiciones apropiadas. Sin embargo, para Lin, et al. (2013) se reduce significativamente cuando se aplica a gases residuales no diluidos y poco biodegradables en grandes cantidades de corrientes de gas contaminadas.

Según Ibanga, et al. (2018) se emplean dos formas de biofiltro: El biofiltro descubierto normalmente se construye en forma de una caja de concreto cuya parte superior está en contacto con la atmósfera. Ya que los sistemas de biofiltros se encuentran en la intemperie y por lo tanto expuestos a factores climáticos, se puede manifestar un desarrollo de plantas. No obstante la operación es difícil de equilibrar una vez producida una lluvia abundante porque el lecho filtrante podría estar húmedo y en tiempos soleados estar seco. El biofiltro cerrado generalmente está encapsulado en un contenedor de acero o plástico. Los parámetros del proceso, como el flujo y composición del fluido, la temperatura, etc. son menos complicados de controlar y monitorear (Schnelle, et al. 2015)

Para Nhat Huy et al. (2020) los gases malolientes generalmente fluyen a lo largo del medio de empaquetamiento con poros húmedos y los compuestos malolientes se traspasan de la fase gaseosa a la fase líquida y posteriormente a la biopelícula donde se realiza la oxidación biológica. El contenido de humedad es un parámetro clave del material del biofiltro. El rango óptimo para el desarrollo de una comunidad microbiana activa fluctúa entre 40% y el 60%. Con el fin de impedir la resequead de las capas filtrantes, se emplean sistemas depuradores para que el aire humedecido fluya hacia el biofiltro. Algunas veces el agua rociada en el área superior del biofiltro es constante ya que

proporcionan humedad y alimentación suplementaria a la comunidad microbiana.

Durante el flujo de gases a través de la capa, los contaminantes son absorbidos y descompuestos. La aplicación habitual de los biofiltros como mencionan Shang, et al. (2021) está relacionada con su simplicidad, el bajo coste, la posibilidad de eliminar una gama cada vez mayor de compuestos y la ausencia de generación de residuos indeseables.

Los filtros biopercoladores pueden ser operados con flujo continuo o no continuo de gas y líquido. Para el tratamiento de los COV y de los compuestos con menos solubilidad en el agua a menudo se prefiere el funcionamiento continuo, ya que se puede provocar la separación del contaminante de la fase líquida en la salida del gas justo antes de salir del biorreactor lo que podría reducir la eficiencia de remoción de estos compuestos

El proceso de biodegradación microbiana puede producirse en el líquido (biorreactor de lecho fluidizado) o en la biopelícula. El líquido vertido del biorreactor vuelve a la zona superior de la unidad de absorción. Así también, en el caso de los filtros tipo *biotrickling* se necesita de compuestos nutritivos y la presencia de una etapa acuosa y móvil que logre el control directo de algunos parámetros como el potencial de hidrogeno y la concentración de sales.

El tratamiento de hedores usando los biodepuradores implica movilizar la carga contaminante de la etapa gaseosa al líquido de adsorción (por lo general, este presenta una suspensión acuosa de lodos activados). Todo este proceso se desarrolla con un flujo inverso o si es que los biodepuradores tipo *bioscrubbers* están encapsulados con un flujo cruzado. Con el fin de aumentar la zona de contacto entre las etapas líquida y gaseosa, a menudo se emplea un encapsulado adecuado (Schlegelmilch et al.2005).

Hernández et al. (2012) refieren que el tratamiento biológico de los compuestos odoríferos presentes en la corriente de gas que se depura es el resultado de dos procesos: la absorción de los gases contaminados y su descomposición biológica. Inicialmente se desarrolla la absorción de los contaminantes, en donde se eliminarán los componentes responsables del hedor del gas. Luego,

se desarrolla la biodegradación de los contaminantes absorbidos, es decir, la regeneración del absorbente.

Los sistemas de biorreactores de membrana son adecuados para depurar los contaminantes de naturaleza hidrofóbica presentes en el aire y los gases contaminados ya que otorgan una interfase gas-líquido y condiciones adecuadas para transferir la masa. Utilizando una membrana adecuadamente elegida este sistema permite la permeabilidad selectiva de los contaminantes seleccionados, lo que no es posible en ninguno de los otros tipos de reactores (Mudliar et al., 2010); esto en contraste con los Biorreactores de partición de dos fases para los que a eficacia del tratamiento se ve reducida por el área de contacto especial de gas/líquido (Zheng. et al. 2017).

En contraste con los tratamientos físicos/químicos, el tratamiento biológico suele considerarse una vía rentable y ecológica para la purificación de las corrientes de gas; sin embargo, el principal impacto medioambiental de las técnicas biológicas es el elevado consumo de agua para mantener la actividad biológica (Lewkowska et al., 2016).

Andraskar, et al. (2021) observan que la biofiltración es la técnica más eficiente para la degradación de hedores ya que su aplicación es más sencilla comparándola con otras técnicas de control de hedores; aunque, estas necesiten elevados costes de inversión y de funcionamiento.

Son muchos los compuestos químicos presentes en los hedores emitidos por la operación de plantas de valorización de residuos sólidos orgánicos, los cuales se asocian a los olores perturbadores que se producen durante su tratamiento, siendo los compuestos sulfurados y organosulfurados, nitrogenados, ácidos orgánicos y cetonas los más comunes, tal como se aprecia en la tabla N° 3.

Tabla 3. Compuestos de hedores comunes en los residuos sólidos municipales (etapas aeróbico y/o anaeróbico)

Clasificación	Nombre del compuesto	Etapa aeróbica	Etapa anaeróbica	Referencias
---------------	----------------------	----------------	------------------	-------------

Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno		x	Chen, et al. (2017)
Órganos sulfurados	Sulfuro de dimetilo	x		Kang, et al (2020)
	Disulfuro de dimetilo	x		Nhat Huy, et al. (2020)
	Disulfuro de etilo	x		Manczarski, et al. (2019)
Nitrogenados	Amoniaco		x	Chen, et al. (2017)
	Acetamida	x		Chen, et al. (2017)
Ácidos orgánicos	Ácido acético	x	x	Pecorini, et al. (2020)
	Ácido butírico		x	Pecorini, et al. (2020)
	Ácido propiónico	x	x	Shang, et al. (2020)
Cetonas	Acetona	x	x	Nhat Huy et al. (2020)
	Butanona	x	x	Nhat Huy et al. (2020)
	Pentanona	x	x	Han, et al. (2020)
Alcanos	Propano	x		Yu, et al.(2019)
	Pentano	x	x	Han, et al. (2020)
Hidrocarburos aromáticos	Tolueno	x	x	Affek, et al. (2021)
	Benceno	x		Cheng, et al. (2021)
	Xileno	x		Liu, et al.(2020)
	Estireno		x	Affek, et al. (2021)
Éster	Acetato de etilo	x	x	Shang, et al. (2020)
Terpenos	Pineno	x	x	Pecorini, et al. (2020)
	Limoneno	x	x	Wan, et al. (2016)
Alcoholes	Etanol	x		Chen, et al. (2017)

	Isopropanol	x		Chen, et al. (2017)
	Propanol	x	x	Shang, et al. (2020)
	Butanol	x		Kang, et al (2020)

Fuente: Elaboración propia

Para Kang, et al. (2020) tanto el metano como el sulfuro de hidrógeno son los principales compuestos químicos de los hedores emitidos. Wan, et al. (2016), menciona que los compuestos olorosos son emitidos en la disposición temporal o final de los residuos sólidos o son generados durante la lixiviación de estos; además estos investigadores señalan que cualquier planta de valorización de residuos sólidos mal diseñada y/o mal operada (sea de tipo automatizada o manual) en etapas aerobia o anaerobia, es susceptible de emitir hedores.

Para Wright, et al. (2020), el hedor es generado por la combinación de diversos compuestos químicos volátiles que podrían causar la sensación de náuseas, dolores de cabeza y lesiones de orden neurotóxico; por tal razón, debido a la interacción de diferentes especies químicas volátiles, en particular los compuestos de azufre (por ejemplo, sulfuros, mercaptanos), compuestos de nitrógeno (por ejemplo, amoníaco, aminas) y compuestos orgánicos volátiles (alcoholes, ácidos, ésteres, cetonas).

Affek, et al. (2021) sostienen que los compuestos orgánicos volátiles son un tipo de compuestos constituidos por grupos funcionales como alcoholes, ácidos grasos volátiles, aldehídos, aminas, carbonatos, sulfuros, disulfuros, mercaptanos y compuestos nitrogenados heterocíclicos y que se caracterizan su volatilidad. En cambio, los compuestos inorgánicos como H₂S, NH₃ y Cl₂ gracias al peso molecular bajo que poseen son capaces de enlazarse a las glándulas olfativas receptoras y, de este modo alterar el nivel de olor.

La carga contaminante que se suprimirá a través del proceso biológico deberá ser soluble en el medio sorbente (que en este caso estará en fase líquida y normalmente es agua), dicha carga contaminante también puede ser eliminada

por medio de disolución: el material lipídico (grasas) es una muestra de esta operación ya que forma parte de la membrana celular.

Según Alinezhad, et al (2019), los elementos constituyentes de los gases malolientes se originan fundamentalmente en los procesos de metabolismos desarrollados en los sistemas de recolección y depuración de aguas residuales (Jaber et al., 2014). Normalmente, las fuentes de hedores presentes en los establecimientos de valorización y/o recuperación son NH_3 y H_2S .

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que los métodos biotecnológicos de control de hedores tienen ventajas de aplicación al haber mostrado resultados satisfactorios en términos de capacidad de eliminación y un reducido impacto ambiental - microbiota que subyace a la biodegradación de los componentes de los hedores-; y también desventajas al presentar algunas limitaciones técnicas-económicas y biológicas (requerir una monitorización continua de los parámetros operativos como T, pH, tiempo de residencia en el lecho).
- Se concluye que la aplicación en conjunto de un biofiltro común y un biodepurador -en sistemas de preeliminación de altas concentraciones de olores- permite reducir la carga contaminante que ingresa en aproximadamente un 50%, por lo que representa el método de control biotecnológico con mayores perspectivas de funcionamiento y uso.
- Se concluye que entre los compuestos químicos comunes presentes en los hedores de los residuos sólidos orgánicos se hallan los sulfuros (se descomponen por respiración anaerobia de la materia orgánica y son inflamables), los nitrogenados (de olores penetrantes y característicos del elemento nitrógeno), hidrocarburos aromáticos (benceno, xileno, tolueno, estireno, muy reactivos y densos), los alcanos, entre otros. Además, deben tener la propiedad de ser solubles en el sorbente (generalmente agua y donde se realiza la actividad degradativa de los microorganismos), al menos en un grado mínimo.

VI. RECOMENDACIONES

- Existen ventajas en la aplicación de la tecnología biológica para la filtración de gases contaminados malolientes como son: consumo bajo de energía, grado alto de purificación, compatibilidad medioambiental adecuada, funcionamiento y mantenimiento sencillos, y ausencia de contaminación secundaria; por lo que se recomienda tomar en cuenta la aplicación de estos métodos.
- Se recomienda, verificar con mayores estudios si las plantas de tratamiento q están por construir en Perú cuentan con métodos de tratamiento biotecnológicos de hedores.
- Se recomienda realizar un estudio de costos en el diseño y aplicación de alguno de estos métodos biotecnológicos de tratamientos de hedores – o en combinación para su reforzamiento- para así determinar el que tenga menos costos de implementación.

REFERENCIAS

1. ABDUL-WAHAB, et al. A study to investigate the key sources of odors in Al-Multaqa Village, Sultanate of Oman (2017). *Environmental Forensics*, 18(1), 15–35. <https://doi.org/10.1080/15275922.2016.1230911>
2. AFFEK, et al. Bioaerosol emission from biofilters: impact of bed material type and waste gas origin (2021). En línea. *Atmosphere*, vol. 12 (noviembre de 2021), n.º 12, p. 1574. ISSN 2073-4433. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/atmos12121574>. [consultado el 31/05/2022].
3. ALINEZHAD, Ebrahim et al. Technical and economic investigation of chemical scrubber and bio-filtration in removal of H₂S and NH₃ from wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2019, **241**, 32–43. ISSN 0301-4797 [consultado el 11 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.jenvman.2019.04.003](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.003)
4. ANET, B., et al. Characterization and Selection of Packing Materials for Biofiltration of Rendering Odorous Emissions (2013). *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1622-1>
5. Burgess, J. E., Parsons, S. A. y Stuetz, R. M. (2001). Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotechnology Advances*, 19(1), 35–63. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(00\)00058-6](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(00)00058-6)
6. Bouzalakos, S., Jefferson, B., Longhurst, P. J. y Stuetz, R. M. (2004). Developing methods to evaluate odour control products. *Water Science and Technology*, 50(4), 225–232. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0269>
7. Barbusinski, K., Kalemba, K., Kasperczyk, D., Urbaniec, K. y Kozik, V. (2017). Biological methods for odor treatment – A review. *Journal of Cleaner Production*, 152, 223–241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.093>
8. CANOVAI, Alessandro, Federico VALENTINI, Edoardo MANETTI y Mauro ZAGAROLI. Odor control in composting plants: results from full-scale experiences. En línea. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol.

- 39 (diciembre de 2004), n.º 4, pp. 927–937. ISSN 1532-4117. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/ese-120028403>. [consultado el 31/05/2022].
9. Carrasco, M. y Ridout, J. B. (1993). Olfactory perception and olfactory imagery: A multidimensional analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19(2), 287–301. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.19.2.287>
 10. Colón J, et al. (2014) Characterization of odorous compounds and odor load in indoor air of modern complex MBT facilities. *Chem Eng J*. 2017;313:1311-9. DOI: 10.1016/j.cej.2016.11.026.
 11. CHUNG, Ying-Chien, Chihpin HUANG, Ching-Ping TSENG y Jill RUSHING PAN. Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. En línea. *Chemosphere*, vol. 41 (agosto de 2000), n.º 3, pp. 329–336. ISSN 0045-6535. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00490-7](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00490-7). [consultado el 30/05/2022].
 12. CHENG, Qingli, Longlong ZHANG, Dawei WANG y Bochao NIU. Bioaugmentation mitigates ammonia and hydrogen sulfide emissions during the mixture compost of dewatered sewage sludge and reed straw. En línea. *Environmental Science and Pollution Research*, julio de 2021. ISSN 1614-7499. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15446-5>. [consultado el 30/05/2022].
 13. CHUNG, Ying-Chien, Chihpin HUANG, Ching-Ping TSENG y Jill RUSHING PAN. Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. En línea. *Chemosphere*, vol. 41 (agosto de 2000), n.º 3, pp. 329–336. ISSN 0045-6535. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00490-7](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00490-7). [consultado el 30/05/2022].
 14. CHUNG, Ying-Chien. Evaluation of gas removal and bacterial community diversity in a biofilter developed to treat composting exhaust gases. En línea. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 144 (junio de 2007), n.º 1-2, pp. 377–385. ISSN 0304-3894. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.045>. [consultado el 31/05/2022].

15. DENGCHAO, Jin, Teng HONGJUN, Bao ZHENBO y Li YANG. Biological removal effect for odor in medical waste steam treatment process. En línea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 61 (abril de 2017), p. 012142. ISSN 1755-1315. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/61/1/012142>. [consultado el 31/05/2022].
16. DONG, Wen. Study on the control of polluted odour gas by biological treatment technology. En línea. *Kemija u industriji*, vol. 66 (julio de 2017), n.º 7-8, pp. 339–343. ISSN 1334-9090. Disponible en: <https://doi.org/10.15255/kui.2017.006>. [consultado el 31/05/2022].
17. Fan, F., Xu, R., Wang, D. y Meng, F. (2020). Application of activated sludge for odor control in wastewater treatment plants: Approaches, advances and outlooks. *Water Research*, 181, 115915. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115915>
18. Fang, J., Lü, F., Zhang, H., Shao, L. y He, P. (2015). Odor compounds released from different zones of two adjacent waste treatment facilities: Interactive influence and source identification. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(12), 1446–1455. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1104401>
19. GAŁWA-WIDERA, Monika y Anna KWARCIAK-KOZŁOWSKA. Reduction of odor nuisance from the composting process. En línea. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20 (junio de 2019), n.º 6, pp. 84–89. ISSN 2299-8993. Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/108698>. [consultado el 31/05/2022].
20. GAŁWA-WIDERA, Monika, Anna KWARCIAK-KOZŁOWSKA y January BIENÍ. Reduction of odour nuisance of industrial plants – biofiltering in composting plants. *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. 2018, 19(5), 135–143. ISSN 2299-8993 [consultado el 12 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.12911/22998993/89821](https://doi.org/10.12911/22998993/89821)
21. Gabriel, D., Cox, H. H. J. y Deshusses, M. A. (2004). Conversion of Full-Scale Wet Scrubbers to Biotrickling Filters for H₂S Control at Publicly Owned

Treatment Works. *Journal of Environmental Engineering*, 130(10), 1110–1117. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2004\)130:10\(1110\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2004)130:10(1110))

22. HAN, Yunping, Ying WANG, Fengguang CHAI, Jiawei MA y Lin LI. Biofilters for the co-treatment of volatile organic compounds and odors in a domestic waste landfill site. En línea. *Journal of Cleaner Production*, vol. 277 (diciembre de 2020), p. 124012. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124012>. [consultado el 30/05/2022].
23. Hernández-Meléndez, O., Bárzana, E., Arriaga, S., Hernández-Luna, M. y Revah, S. (2008). Fungal removal of gaseous hexane in biofilters packed with poly(ethylene carbonate) pine sawdust or peat composites. *Biotechnology and Bioengineering*, 100(5), 864–871. <https://doi.org/10.1002/bit.21825>
24. Hu Bin, Ding Ying, Wu Wei-xiang, Hu Bei-gang, & Chen Ying-xu. (2010). Odor pollution from landfill sites and its control: A review. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 21(3), 785–790.
25. HUY, Nguyen Nhat, Nguyen Thi THUY, Lam Pham Thanh HIEN, Nguyen Thi Thanh HANG, Vuong Bao KHUONG et al. Study on the removal of odorous gases from composting process using local bio-media of vietnam. En línea. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, vol. 20 (diciembre de 2020), n.º 2, p. 130. ISSN 2655-5409. Disponible en: <https://doi.org/10.22146/ajche.54735>. [consultado el 31/05/2022].
26. IBANGA, I. E., L. A. FLETCHER, C. J. NOAKES, M. F. KING y D. STEINBERG. Pilot-scale biofiltration at a materials recovery facility: the impact on bioaerosol control. En línea. *Waste Management*, vol. 80 (octubre de 2018), pp. 154–167. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.010>. [consultado el 31/05/2022].
27. Iranpour, R., Cox, H. H. J., Deshusses, M. A. y Schroeder, E. D. (2005). Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environmental Progress*, 24(3), 254–267. <https://doi.org/10.1002/ep.10077>

28. INEI. *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020* [en línea]. Lima, diciembre de 2020 [consultado el 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf
29. Lai, W.-L., Yeh, H.-H., Tseng, I.-C., Lin, T.-F., Chen, J.-J. y Wang, G. T. (2002). Conventional versus advanced treatment for eutrophic source water. *Journal - American Water Works Association*, 94(12), 96–108. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2002.tb10252.x>
30. LELICIŃSKA-SERAFIN, Krystyna, Anna ROLEWICZ-KALIŃSKA y Piotr MANCZARSKI. VOC removal performance of a joint process coupling biofiltration and membrane-filtration treating food industry waste gas. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línea]. 2019, 16(17), 3009. ISSN 1660-4601 [consultado el 12 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.3390/ijerph16173009](https://doi.org/10.3390/ijerph16173009)
31. Lebrero, R., Rodríguez, E., García-Encina, P. A. y Muñoz, R. (2011). A comparative assessment of biofiltration and activated sludge diffusion for odour abatement. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.090>
32. Le Pera, A., Sellaro, M., Bencivenni, E. y D'Amico, F. (2022). Environmental sustainability of an integrate anaerobic digestion-composting treatment of food waste: Analysis of an Italian plant in the circular bioeconomy strategy. *Waste Management*, 139, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.042>
33. LIU, Jianwei, Jianbin SUN, Chen LU, Peng YUE, Xinyue KANG et al. Bioaerosol emissions of pilot-scale low-pH and neutral-pH biofilters treating odors from landfill leachate: characteristics and impact factors. En línea. *Waste Management*, vol. 128 (junio de 2021), pp. 64–72. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.040>. [consultado el 31/05/2022].
34. LIU, Jianwei et al. Performance and substance transformation of low-pH and neutral-pH biofilters treating complex gases containing hydrogen sulfide, ammonia, acetic acid, and toluene. *Environmental Science and Pollution*

Research [en línea]. 2021. ISSN 1614-7499 [consultado el 11 de julio de 2022].
Disponible en: doi:10.1007/s11356-021-12602-9

35. LIU, Qiang, Mi LI, Rong CHEN, Zhengyue LI, Guangren QIAN et al. Biofiltration treatment of odors from municipal solid waste treatment plants. En línea. *Waste Management*, vol. 29 (julio de 2009), n.º 7, pp. 2051–2058. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.002>. [consultado el 31/05/2022].
36. Lin, Y.-H., Chen, Y.-P., Ho, K.-L., Lee, T.-Y. y Tseng, C.-P. (2013). Large-scale modular biofiltration system for effective odor removal in a composting facility. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48(11), 1420–1430. <https://doi.org/10.1080/10934529.2013.781898>
37. LOZANO TEJADA, Carolina, TRUJILLO PILLACA, Alexander, CARVALLO MUNAR, Edgardo, MACASSI JAUREGUI, Illiana and CARDENAS RENGIFO, Luis. Integrated sustainable model to generate electricity from municipal organic waste in a district of Lima- Peru Modelo integrado sostenible para generar energía eléctrica de residuos orgánicos municipales en un distrito de Lima-Perú. In : UPC (ed.). 2020. p. 1–8. ISBN 9789585207141.
38. Mahin, T. D. (2001). Comparison of different approaches used to regulate odours around the world. *Water Science and Technology*, 44(9), 87–102. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0514>
39. MANCZARSKI, Piotr, Krystyna LELICIŃSKA-SERAFIN y Anna ROLEWICZ-KALIŃSKA. Assessment of the efficiency of biological treatment of gases from municipal waste processing. En línea. *Ecological Chemistry and Engineering S*, vol. 26 (diciembre de 2019), n.º 4, pp. 687–696. ISSN 2084-4549. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0049>. [consultado el 31/05/2022].
40. NASSOUR, A., HEMIDAT, S., LEMKE, A., ELNAAS, A. and NELLES, M. Separation by manual sorting at home: State of the art in Germany. *Handbook of Environmental Chemistry*. 2018. Vol. 63, p. 67–87. DOI 10.1007/698_2017_26.

41. Osabutey, A., Cromer, B., Davids, A., Prouty, L., Haleem, N., Thaler, R., Nicolai, R. y Yang, X. (2022). Distribution of Airflow and Media Moisture Content across Two Vertical Bed Biofilters. *AgriEngineering*, 4(1), 179–189. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010013>
42. PECORINI, Isabella, Elena ROSSI y Renato IANNELLI. Mitigation of Methane, NMVOCs and Odor Emissions in Active and Passive Biofiltration Systems at Municipal Solid Waste Landfills. En línea. *Sustainability*, vol. 12 (abril de 2020), n.º 8, p. 3203. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12083203>. [consultado el 31/05/2022].
43. Pedros, P. B., Askari, O. y Metgalchi, H. (2015). Reduction of Nitrous Oxide Emissions from Biological Nutrient Removal Processes by Thermal Decomposition. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2015(2), 1–22. <https://doi.org/10.2175/193864715819558695>
44. PERÚ. Ambiente. *Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. En línea. Decreto Supremo n.º 014-2017-MINAM [s. f.]. Diario Oficial El Peruano. 21/12/2017. Disponible en: <http://epdoc2.elperuano.pe/EpPo/DescargaINDA.asp?Referencias=NjM5VzIXOVdMSExIOVdXVjIXWUJMSFICOVdfX1M4VkJKWQIYWVhVTjIX>. [consultado el 31/05/2022].
45. PERÚ. Ambiente. *Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. En línea. Decreto Supremo n.º 014-2017-MINAM [s. f.]. Diario Oficial El Peruano. 21/12/2017. Disponible en: <http://epdoc2.elperuano.pe/EpPo/DescargaINDA.asp?Referencias=NjM5VzIXOVdMSExIOVdXVjIXWUJMSFICOVdfX1M4VkJKWQIYWVhVTjIX>. [consultado el 31/05/2022].
46. Reyes, J., Toledo, M., Michán, C., Siles, J. A., Alhama, J. y Martín, M. A. (2020). Biofiltration of butyric acid: Monitoring odor abatement and microbial

- communities. *Environmental Research*, 190, 110057. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110057>
47. ROLEWICZ-KALIŃSKA, Anna, Krystyna LELICIŃSKA-SERAFIN y Piotr MANCZARSKI. Volatile organic compounds, ammonia and hydrogen sulphide removal using a two-stage membrane biofiltration process. *Chemical Engineering Research and Design* [en línea]. 2021, 165, 69–80. ISSN 0263-8762 [consultado el 11 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.cherd.2020.10.017](https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.10.017)
48. Scully, F. E., Hogg, P. A., Kennedy, G., Lewicki, C., Rule, A. M. y Soffriti, J. G. (1999). Development of Disinfection-Resistant Bacteria During Wastewater Treatment. *Water Environment Research*, 71(3), 277–281. <https://doi.org/10.2175/106143098x121905>
49. Sironi, S., Capelli, L., Centola, P. y Rosso, R. D. (2007). Odour emissions from MSW composting process steps. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 7(3/4), 304. <https://doi.org/10.1504/ijetm.2007.015148>
50. Shang, B., Zhou, T., Tao, X., Chen, Y. y Dong, H. (2020). Simultaneous removal of ammonia and volatile organic compounds from composting of dead pigs and manure using pilot-scale biofilter. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1841040>
51. Szyłak-Szydłowski, M. (2021). Evaluation of Inoculated Waste Biological Stabilization Degree by Olfactometric Methods. *Energies*, 14(7), 1835. <https://doi.org/10.3390/en14071835>
52. Tello-Rozas, S. (2015). Inclusive Innovations Through Social and Solidarity Economy Initiatives: A Process Analysis of a Peruvian Case Study. *VOLUNTAS: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 27(1), 61–85. <https://doi.org/10.1007/s11266-015-9606-y>
53. VELA-APARICIO, Diana, Daniel F. FORERO, Mario A. HERNÁNDEZ, Pedro F. B. BRANDÃO y Iván O. CABEZA. Simultaneous biofiltration of H₂S and NH₃

using compost mixtures from lignocellulosic waste and chicken manure as packing material. En línea. *Environmental Science and Pollution Research*, septiembre de 2020. ISSN 1614-7499. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10817-w>. [consultado el 30/05/2022].

54. Chung YC, Huang C, Tseng CP, Pan JR. Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. *Chemosphere*. 2000 Aug;41(3):329-36. doi: 10.1016/s0045-6535(99)00490-7. PMID: 11057594.
55. Junjie WAN, Zhicong ZENG, Jianyu XIE, Yupei ZHUANG, Kaiping LUO, Zhimei KE, & Zhikun LI. (2016). Biotreatment of Odor Waste Gases by Immobilized Ceramsite Biofilter. *Agricultural Science & Technology*, 17(3), 737–741.
56. Wright, D. W., Eaton, D. K., Nielsen, L. T., Kuhrt, F. W., Koziel, J. A., Spinhirne, J. P. y Parker, D. B. (2005). Multidimensional Gas Chromatography–Olfactometry for the Identification and Prioritization of Malodors from Confined Animal Feeding Operations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8663–8672. <https://doi.org/10.1021/jf050763b>
57. Yang, A., Chen, X., Huang, G., Zhao, S., Lin, X. y Mcbean, E. (2019). Coordinative Urban-Rural Solid Waste Management: A Fractional Dual-Objective Programming Model for the Regional Municipality of Xiamen. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/1360454>
58. Yang, J.-C., Chang, P.-E., Ho, C.-C. y Wu, C.-F. (2019). Application of factor and cluster analyses to determine source–receptor relationships of industrial volatile organic odor species in a dual-optical sensing system. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(10), 5347–5362. <https://doi.org/10.5194/amt-12-5347-2019>
59. YU, Ying, Jiaqi HOU, Mingxiao LI, Fanhua MENG, Beidou XI et al. Selection and optimization of composting packing media for biofiltration of mixed waste odors. En línea. *Waste and Biomass Valorization*, vol. 11 (julio de 2019), n.º 8, pp. 4109–4117. ISSN 1877-265X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00744-4>. [consultado el 31/05/2022].

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de categorización apriorística

Problemas específicos	Objetivos específicos	Categoría	Subcategorías	Criterio 1	Criterio 2
¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores?	Describir las ventajas y desventajas de los métodos biotecnológicos de control de hedores.	Métodos biotecnológicos de control de hedores	Biofiltro	De acuerdo a los parámetros de operación (Ibanga, et al. 2018),	De acuerdo al costo de implementación y diseño (Wan, et al. 2016)
			Filtro biopercolador		
			Biodepurador		
			Biorreactor de membrana		
¿Cuáles son las tasas de remoción de contaminantes del método biotecnológico de control de hedores más empleado?	Describir las tasas de remoción de contaminantes del método biotecnológico de control de hedores más empleado	Métodos biotecnológicos de control de hedores	Biofiltro	De acuerdo al grado de humedad contenido (Dong 2017 p.2)	De acuerdo al lecho empleado (Affek, et al 2022 p.5)
			Filtro biopercolador		
			Biodepurador		
			Biorreactor de membrana		
			Biorreactor de partición de dos fases		

¿Cuáles son los contaminantes comunes presentes en los hedores de los residuos sólidos orgánicos?	Describir los compuestos químicos comunes presentes en los hedores de los residuos sólidos orgánicos	Contaminantes presentes en los hedores	Etapa aeróbica	De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos de operación (Liu, et al. 2022)	De acuerdo a los parámetros biológicos de operación (Manzarsky, et al. 2019)
			Etapa anaeróbica		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Instrumento de recolección de datos

Tabla 1: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Biofiltros para el tratamiento conjunto de compuestos orgánicos volátiles y olores en un vertedero de residuos domésticos.	
AUTOR (ES): Han, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2020
PARTICIPANTE: Science Direct	PÁGINAS EMPLEADAS: 1-9
PALABRAS CLAVES:	Vertedero, Biofiltro, Compuestos orgánicos volátiles, Olores, Tratamiento conjunto
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA	Componentes orgánicos volátiles
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES	Biofiltración
RESULTADOS:	La tasa media de eliminación de los compuestos orgánicos volátiles, los sulfuros y las aminas en ambos biofiltros superó el 80%; en los inóculos, el género bacteriano dominante fue Brevibacillus (58,84%), y las bacterias con Bacillus y Pseudomonas sólo ocuparon el 2,67% y el 1,77%
CONCLUSIÓN:	Los resultados encontraron que incluso en el mismo vertedero los contaminantes gaseosos producidos en la zona de sellado y de tratamiento de lixiviados son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Biotratamiento de gases residuales olorosos mediante un biofiltro de ceramita inmovilizado	
AUTOR (ES): Wan, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2016
PARTICIPANTE: Science Direct	PÁGINAS EMPLEADAS: 1 - 6
PALABRAS CLAVES:	Biofiltro, amoniaco, sulfuro de hidrógeno, biotratamiento.
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA	Sulfuro de hidrógeno, amoniaco
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES	Biofiltro
RESULTADOS:	La formación de la biopelícula del sistema de biofiltro para purificar el gas residual de sulfuro se completó en nueve días, y la tasa de eliminación de sulfuro pudo alcanzar hasta el 99% con la concentración inicial de 100 - 1000 g/mg ³ .
CONCLUSIÓN:	Bajo condiciones correctas, el biofiltro mostró altas tasas de remoción para H ₂ S y NH ₃

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Emisión de bioaerosoles de los biofiltros: impacto del tipo de material del lecho y del origen de los gases residuales	
AUTOR (ES): Affek, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2021
PARTICIPANTE: Scopus	PÁGINAS EMPLEADAS: 1 - 8
PALABRAS CLAVES:	Tratamiento de gases residuales, lecho de biofiltro, actividad microbiana respiratoria, emisión de bioaerosol
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA:	Bioaerosoles diversos
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES	Biofiltro
RESULTADOS:	Ambos materiales de lecho favorecieron el crecimiento microbiano y un número elevado (106-108 ufc/g de masa seca) de bacterias y hongos cultivables en los lechos.
CONCLUSIÓN:	Los biofiltros redujeron o aumentaron las emisiones de bioaerosoles de las plantas industriales, dependiendo del contenido microbiano en los gases residuales.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Evaluación de la eficacia del tratamiento biológico de los gases procedentes del tratamiento de los residuos municipales.	
AUTOR (ES): Manczarski, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2019
PARTICIPANTE: Scopus	PÁGINAS EMPLEADAS: 687 - 696
PALABRAS CLAVES:	Biofiltración, material de relleno, eficiencia del tratamiento del gas, residuo municipal.
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA:	Compuestos orgánicos volátiles
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES	Bbiofiltración
RESULTADOS:	Análisis de parámetros fisicoquímicos y operativos
CONCLUSIÓN:	Se observaron irregularidades relacionadas con la eficacia de la biofiltración, especialmente resultantes de una selección inadecuada del material de relleno y de un funcionamiento incorrecto del biofiltro.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: La bioaumentación mitiga las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno durante el compostaje de mezcla de lodos de depuradora deshidratados y paja de caña.	
AUTOR (ES): Cheng, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2021
PARTICIPANTE: EBSCO	PÁGINAS EMPLEADAS: 1 - 11
PALABRAS CLAVES:	lodos de depuradora, bioaumentación, compost, pérdida de nitrógeno, emisión de sulfuro de hidrógeno, proliferación bacteriana
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA:	Sulfuro de hidrogeno y amoniaco
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES	Biopercolacion
RESULTADOS:	Durante 20 días de aireación del compostaje a escala de laboratorio, la adición de un cultivo de 200 ml (56,80 NTU) redujo las emisiones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en un 38,00% y un 54,32%.y conservó el nitrógeno total y el sulfato en un 39,42% y un 70,75%, respectivamente.
CONCLUSIÓN:	El enriquecimiento del lecho con microbiota podría mejorar la diversidad y la uniformidad de la comunidad bacteriana para resistir las fluctuaciones externas y lograr la estabilidad del rendimiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Mitigación de emisiones de metano, compuestos orgánicos volátiles y olores en sistemas de biofiltración activos y pasivos en vertederos de residuos sólidos municipales	
AUTOR (ES): Pecorini, Rossi y Iannelli	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2020
PARTICIPANTE: Ebsco	PÁGINAS EMPLEADAS: 1 - 23
PALABRAS CLAVES:	Biorreactores de partición de dos fases, bioventana, gas de vertedero, compost, oxidación de metano, mitigación de olor
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA:	Metano y compuestos orgánicos no volátiles.
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES:	Biorreactores de partición de dos fases Biofiltración
RESULTADOS:	Tanto el bioreactor de partición de dos fases como el biofiltro fueron eficaces para la oxidación del metano (58,1% y 88,05%, respectivamente), para la mitigación de los COVNM (superior al 80%) y para la reducción de los olores (99,84% y 93,82%, respectivamente).
CONCLUSIÓN:	Los biofiltros son sistemas válidos para el tratamiento de gas de vertedero diluido en presencia de un sistema activo de extracción de gas de vertedero, mientras que los biorreactores de partición de dos fases, en ausencia de extracción activa.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Ficha de Análisis

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: Emisiones de bioaerosoles de biofiltros de bajo pH y pH neutro a escala piloto que tratan los olores de los lixiviados de vertedero: características y factores de impacto	
AUTOR (ES): Liu, et al.	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2020
PARTICIPANTE:	PÁGINAS EMPLEADAS: 1 - 13
PALABRAS CLAVES:	Gases complejos, biofiltro, eficiencia de remoción, transformación de sustancias, degradación microbiana, tiempo de residencia del lecho vacío
TIPOS DE CONTAMINANTES GENERADOS EN PLANTA:	Hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, ácido acético y tolueno
TIPO DE MÉTODO PARA CONTROLAR HEDORES:	Biofiltración
RESULTADOS:	El biofiltro de bajo pH tuvo una mayor eficiencia de eliminación (RE) para el sulfuro de hidrógeno y el tolueno, y las eficiencias máximas fueron del 99,24% y el 99,90% respectivamente, mientras que el biofiltro de pH neutro tuvo mayores ER de amoníaco y ácido acético, hasta el 99,90% y el 99,92% respectivamente.
CONCLUSIÓN:	Los resultados mostraron que el biofiltro de bajo pH y el de pH neutro tenían diferencias de rendimiento de transformación de sustancias al tratar gases complejos que contenían sulfuro de hidrógeno, amoníaco, ácido acético y tolueno. sulfuro de hidrógeno, amoníaco, ácido acético y tolueno.

Fuente: Elaboración propia

Tesis para Turnitin (Hipolito Quispe, randy) - copia.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to University of Surrey Trabajo del estudiante	<1%
6	recyt.fecyt.es Fuente de Internet	<1%
7	innovacionyciencia.com Fuente de Internet	<1%
8	issuu.com Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1%

10	www.profiteditorial.com Fuente de Internet	<1 %
11	repositori.uji.es Fuente de Internet	<1 %
12	tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
13	Mian Yang, Tiemeng Ma, Chuanwang Sun. "Evaluating the impact of urban traffic investment on SO 2 emissions in China cities", Energy Policy, 2018 Publicación	<1 %
14	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
15	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
17	www.gbif.org Fuente de Internet	<1 %
18	biblioteca.esпам.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	interface.org.br Fuente de Internet	<1 %
20	www.mysciencework.com Fuente de Internet	<1 %

21	<p>AGUILAR LOPEZ LUCERO GERALDINE. "PIGARS de la Provincia de Sucre 2019-IGA0012782", O.M. N° 015-2019-MPS/CMA/A, 2021</p> <p>Publicación</p>	<1 %
22	<p>Carmen María Sánchez Arévalo. "Implementación de tecnología de membranas para la valorización de los compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales de la industria de producción de aceite de oliva", Universitat Politecnica de Valencia, 2023</p> <p>Publicación</p>	<1 %
23	<p>sites.google.com</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
24	<p>worldwidescience.org</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
25	<p>doczz.es</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado