



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE ACEITES Y
GRASAS
Y SUS EFECTOS EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Hayley Yajaira Zamora Chuquillanqui

Asesor:

Olga Vadimovna Kostenko

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°134-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 30 de septiembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Características físico - químicas de aceites y grasas y sus efectos en los sistemas de alcantarillados**, presentado por:

- **Hayley Yajaira Zamora Chuquillanqui**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Características físico - químicas de aceites y grasas y sus efectos en los sistemas de alcantarillados** con N° de registro de la carrera: **017-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Mg. Olga Vadimovna Kostenko de Caparo** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,


Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LOS ACEITES Y GRASAS Y SUS EFECTOS EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS

Hayley Yajaira Zamora Chuquillanqui

Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima – Perú.

hayleyzamora@gmail.com

RESUMEN (obligatorio)

Los aceites y grasas (A&G) son sustancias complejas e insolubles con el agua que hacen que sean difíciles de degradar, presentan características físicas – químicas como el pH, cantidad de sólidos volátiles, presencia de hierro y calcio, contenido de humedad y metales que van a definir su comportamiento. Los A&G se dividen en dos grandes grupos, según su fuente mineral y origen vegetal. Por otro lado, las principales fuentes de generación de A&G son cuatro: fuente doméstica, restaurantes, refinería de petróleo y fabricación de metales. Siendo, la fuente de mayor generación de A&G, los restaurantes, dado que estos utilizan mayores insumos como carnes, mantequilla, aderezos, salsas, etc. en la preparación de alimentos. Estos son difíciles de tratar, además muchos de estos establecimientos no cuentan con sistemas de tratamiento, debido a que son muy caros. El no tratar las aguas residuales con A&G ocasiona efectos en el sistema de alcantarillado, planta de tratamiento de aguas residuales y ecosistema; la presencia de A&G en la línea de alcantarillado ocasiona que haya obstrucción, desbordamiento y bloqueo en el sistema, haciendo que aumente el costo de operación y mantenimiento; en la PTAR, los A&G inhiben la degradación de los microorganismos y finalmente, en el ecosistema, impide el pase del oxígeno a las especies. Para remover los A&G existen diversos sistemas de tratamiento, siendo la más llamativa los sorbentes orgánicos naturales. Finalmente, en el Perú existe una normativa D.S. N°010-2019-VIVIENDA que regula las descargas de aguas residuales de industrias y comercios en el sistema de alcantarillado.

Palabras clave:

Aceites y grasas, sistema de alcantarillado, tratamientos, normativa, restaurantes, insoluble, depósitos, contaminación.

ABSTRACT (obligatorio)

Oils and greases (A&G) are complex substances that are insoluble in water, making them difficult to degrade. They have physical-chemical characteristics such as pH, amount of volatile solids, presence of iron and calcium, moisture content and metals that will define their behaviour. A&Gs are divided into two large groups, according to their mineral source and plant origin. On the other hand, the main sources of A&G generation are four: domestic source, restaurants, oil refinery and metal manufacturing. Restaurants are the largest source of A&G generation, since they use more inputs such as meat, butter, dressings, sauces, etc. in the preparation of food. These are difficult to treat, and many of these establishments do not have treatment systems, because they are very expensive. Not treating wastewater with A&G causes effects on the sewer system, wastewater treatment plant, and ecosystem; the presence of A&G in the sewer line causes blockage, overflow, and blockage in the system, increasing the cost of operation and maintenance; in the RWTP, A&G inhibits the degradation of microorganisms and finally, in the ecosystem, prevents the passage of oxygen to the species. To remove A&Gs there are several treatment systems, the most striking being natural organic sorbents. Finally, in Peru there is a regulation D.S. N°010-2019-HOME that regulates the discharge of wastewater from industries and businesses into the sewage system.

Keywords:

Oils and greases, sewage system, treatments, regulations, restaurants, insoluble, deposits, contamination.

REVISIÓN TEÓRICA

ACEITES Y GRASAS

Los aceites y grasas (A&G) son un grupo de sustancias orgánicas (Pintor, Vilar, Botelho, & Boaventura, 2016), que se diferencian en su estado a una temperatura, una es líquida y la otra sólida, respectivamente (Bailey, 2001); estas se componen básicamente triglicéridos que consisten en ácidos grasos de cadena recta unidos como ésteres al glicerol (Beldean-Galea, Vial, Thiébaud, & Coman, 2013) que presentan como característica principal, el ser no soluble con el agua, ya que según O'Brien esta característica es debido a que las grandes colas de hidrocarburos no polares presentes en los ácidos grasos, son gobernados por la polaridad de los triglicéridos (Pintor et.al., 2016). Los A&G se pueden dividir en dos grandes grupos, según su procedencia de fuente mineral (petróleo y sus derivados) y origen biológico (animal o vegetal) (Pintor et.al., 2016), es decir, estas se pueden presentar como hidrocarburos, ácidos grasos, jabones, lípidos y ceras (Pintor et.al., 2016). Por ejemplo, en el caso de los jabones, estos presentan como surfactantes, moléculas anfifílicas que son compuestos químicos con doble afinidad por el agua y aceite (Saatchi, Shiller, Eghtesadi, Liu, & Doll, 2017). Las características físico-químicas como el pH, cantidad de sólidos volátiles, presencia de Hierro y Calcio, contenido de humedad y metales van a variar mucho según el tipo de grasa, aceite y fuentes de recolección; los A&G presenta un pH ácido (4-5) y la alta relación de sólidos volátiles (VS) a los sólidos totales (ST) que son mayor al 90%, en los cuales los sólidos volátiles constituyen una cantidad significativa de ácidos grasos saturados (ácido palmítico y ácido esteárico), monoinsaturados (ácido oleico) y poliinsaturados (ácido linoleico) (Salama et al., 2019). Además, existe una correlación significativa entre sus propiedades, por ejemplo, 1) el incremento del peso del depósito de A&G se ve influenciado por el aumento de ácido oleico, mientras que su disminución se va a ver influenciado por

los niveles más altos de ácidos grasos saturados y hierro; 2) el pH va a disminuir según la presencia de ácido oleico y ácidos grasos saturados y va a aumentar por la presencia de hierro en sus depósitos; 3) El contenido de humedad va a disminuir con el nivel de ácidos grasos saturados, pero aumenta con la presencia de calcio y metales en el depósito; 4) La presencia del ácido palmítico va a incrementar la densidad del depósito; y por último 5) La resistencia de este depósito disminuirá con los niveles de ácido oleico y ácidos grasos saturados (Gross et al., 2017). Por otro lado, los A&G se pueden encontrar en distintas características en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Coca, J., Benito, J. & Gutiérrez, 2011).

- 1) Aceite libre: aceite de baja densidad que flota en la superficie del agua en condiciones de reposo.
- 2) Aceite dispersado: conjunto de gotas finas que están estabilizadas por sus cargas eléctricas, estas no presentan surfactantes.
- 3) Aceite emulsionado: similar al aceite dispersado, sin embargo, presenta menor estabilidad debido a las interacciones de los emulsionantes.
- 4) Aceite disuelto: ausencia de gotas visibles, este aceite ya está disuelto químicamente o dispersadas en gotas finas.

Finalmente, una característica importante que cabe mencionar es que estos compuestos son muy estables y eso impide que sean difíciles en ser biodegradadas por medios convencionales (Stoll & Gupta, 1997).

FUENTES DE GENERACIÓN

Las descargas de A&G aumentan cada año, debido al rápido crecimiento de la urbanización y el desarrollo industrial. Las principales fuentes de generación de aguas residuales con sustancias aceitosas son las fuentes domésticas, procesadores de alimentos

refinerías de petróleo y fabricación de metales (Affandi, Suratman, Abdullah, Ahmad, & Zakaria, 2014).

La fuentes de aguas residuales domésticas generalmente contiene muy poca cantidad de A&G que pueden entrar en el tanque séptico o en las instalaciones de tratamiento, formando un capa de espuma flotante (Nidzamuddin et al., 2015). Por otra parte, se puede generar por la demanda de establecimientos de alimentos domésticos y comerciales que emiten grandes volúmenes de aguas residuales, en forma de aguas grises que presenta cantidades significativas de A&G (Montefrio, Xinwen, & Obbard, 2010). Este caso se da en los Estados Unidos, debido al crecimiento de la demanda de la población que ha generado que aumenten el número de establecimientos de servicio de alimentos en las principales ciudades de la urbe (Dominic, Szakasits, Dean, & Ducoste, 2013), según un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, en los Estados Unidos se genera un promedio de 6 kg de A&G/año por persona, siendo evaluadas un aproximado de 30 áreas metropolitanas (Montefrio, Xinwen, & Obbard, 2010). En los establecimientos como los restaurantes, los principales insumos que se utilizan son las carnes, estas pueden generar hasta 40 g de A&G, según el tipo de carne, contenido de grasa y condiciones de cocción (Mudie & Vahdati, 2017). Además, los A&G se pueden emitir de diferentes formas de alimentos como la salsa, aderezos para ensaladas, productos horneados, mantequilla, queso, café y helados (Lee et al., 2017). Por otro parte, los depósitos de A&G de los restaurantes en los sistemas de alcantarillados conforman el 84% de sales metálicas de ácidos grasos, la cual hacen de que haya una gran resistencia a degradarse, a diferencia de otros aceites de cocina comunes (Keener, Ducoste, & Holt, 2008). El destino final de los A&G de los restaurantes y cocina comerciales, es uno de los problemas más olvidados y críticos del manejo de residuos, especialmente en países

en desarrollo, aunque no esta de mas mencionar que los países desarrollados también lo padecen (Stoll & Gupta, 1997).

La segunda fuente de generación de A&G es la refinación del petróleo, esta genera grandes volúmenes de aguas residuales aceitosas en sus procesos como la extracción (Pintor et.al., 2016), refinación, el almacenamiento, transporte y el proceso de producción del petróleo (Yu, Han, & He, 2017). En el proceso de refinación, el agua se utiliza para diferentes actividades como el enfriamiento, generación de vapor, limpieza, etc., este contacto intimo entre las corrientes de aceite con el agua, genera un agua residual con gran contenido de contaminantes como el aceite, fenoles, sulfuros, solidos disueltos, DBO, etc., es decir, la unión entre el agua y los hidrocarburos se agrupan en agua ácida, efluentes desaladores, sustancias en el fondo del tanque y en residuos cáusticos, siendo las tres últimas las contribuyentes a la formación de los A&G; además, la concentración de estos contaminantes y principalmente de los A&G, van a depender del tipo de refinación y la fuente y calidad de los aceites crudos (Wake, 2005). Por ejemplo, en Portugal la mayor contaminación de A&G en las aguas residuales se dieron a causa de los efluentes cáusticos gastados en los lavados caustico del querosene (Santos, Galinha, Crespo, Santos, & Velizarov, 2013). La tercera fuente de generación de A&G se da por la fabricación de piezas de metal de materiales que van desde el aluminio hasta el acero, donde los aceites de corte, enfriamiento y lubricantes se utilizan como interfaz entre las herramientas y las piezas; el aceite no se presenta como aceite puro, sino como emulsiones y van directamente a las aguas residuales de la instalación con concentraciones mayores a 12 g/l de A&G en forma emulsionada (Pintor et.al., 2016). Muchas de estas industrias no cuentan con sistemas de tratamiento para A&G, lo cual ocasiona daños perjudiciales a la salud y al sistema de operación de los tratamientos. Por ello, es necesario evaluar sus efectos y posibles tratamientos para reducir sus impactos.

EFFECTOS

- SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Los principales generadores de A&G son los restaurantes e industrias de procesamiento de alimentos, estos vierten directamente al alcantarillado sus residuos sin ningún tratamiento, sin embargo, la descarga directa de estos no están permitidos por la mayoría de municipios, ya que pueden acumularse en las paredes internas y formar depósitos pegajosos en las tuberías (Kobayashi et al., 2017), debido a que los A&G tienen propiedad adhesiva, es más sencillo adherirse a la corona de la tubería y acumularse lentamente (Dominic et al., 2013), siendo esto un gran problema para las grandes ciudades de países desarrollados (Williams et al., 2012). En los Estados Unidos, los A&G componen el 50 – 75% de las causas del desbordamiento del alcantarillado sanitario, siendo un aproximado de 183 106 m³ de aguas residuales sin tratar, la cual se libera directamente al medio ambiente (Keener et al., 2008). Según Water UK, las empresas de agua y alcantarillado en el Reino Unido han reportado más de 366 000 bloqueos de alcantarillado al año (Martin, 2017), esto igual sucede en la Unión Europea, ya que no pueden depositar sus residuos de lodos y grasas crudos y A&G en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales (Bratina et al., 2016), otro ejemplo claro es el caso de Hong Kong, el cual desde el 2000 tiene más del 60% de bloqueos en sus sistemas de alcantarillados por la obstrucción de A&G (Chan, 2010). Por otro lado, la formación de los depósitos de A&G en los sistemas de alcantarillados están fuertemente correlacionados con cuatro componentes principales: el calcio, los ácidos grasos libres, los aceites y grasas, el agua, pH y la temperatura (He et al., 2013; Wallace, Gibbons, O'Dwyer, & Curran, 2017), siendo una de las causas más importantes del desbordamiento de la infraestructura del alcantarillado, los sales de calcio de los ácidos grasos de cadena larga (He & Yan, 2016). Estos pueden estar influenciados por el pH y la condiciones de temperatura del sistema

de alcantarillado (Iasmin, Dean, & Ducoste, 2016). Por otra parte, la causa de los desbordamientos son influenciadas por las diferentes configuraciones estructurales del alcantarillado, es decir, las partes de las bocas, tuberías y pozos húmedos; la acumulación de A&G pueden variar por la obstrucción de la intrusión de raíces y deformaciones de las tuberías (Dominic et al., 2013). Todos estos factores conlleva a que haya un aumento en el costo de mantenimiento, el mal funcionamiento de las bombas y un aumento potencial de los derrames de agua residuales en los cuerpos receptores de agua (Nieuwenhuis, Post, Duinmeijer, Langeveld, & Clemens, 2018). Es decir, hay una reducción en el rendimiento hidráulico, la medición de nivel para operar las bombas es perturbada por las capas de A&G y cuando se lleve a cabo los procesos de digestión anaeróbica en la PTAR, causan emisiones de olores, sulfuro de hidrógeno y efectos de corrosión (Franke et al., 2011).

- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los efectos que con lleva el no tratar los A&G de las aguas residuales de la misma fuente, ocasiona que cuando llegue el efluente a la planta de tratamiento de aguas residuales pueda causar bloqueos en la infraestructura de liquidación y clarificación, dificultando el proceso de remoción. Además, debido a la lenta degradación de los A&G en la PTAR pueden llegar a afectar las actividades de los microorganismos, al evitar la transferencia de oxígeno o su desaceleración de degradación de otros materiales orgánicos (Wallace et al., 2017). Por otro lado, cuando los A&G llegan a la PTAR en grandes volúmenes, flotan como una capa sobre el agua, además se adhieren a las tuberías y paredes, bloqueando los filtros e interfiriendo con las operaciones del tratamiento (Stoll & Gupta, 1997).

- ECOSISTEMA

Como se mencionó anteriormente, una de las fuentes de generación de A&G son las industrias petroleras; estas al generar A&G y no tener un tratamiento adecuado pueden llegar a afectar los recursos acuáticos, poner en peligro la salud de la población y

animales, contaminar el aire, debido a la emisión de H₂S; reducir la producción de cultivos y destruir el paisaje natural (Yu et.al., 2017). Cabe mencionar que muchas de estas sustancias presentan una biodegradabilidad muy baja, siendo imposible en ocasiones eliminarlos; estos al llegar al mar forman una película de capa de aceite muy delgada que disminuye la penetración de la luz y transferencia de oxígeno entre el aire y agua (Pintor et.al., 2016).

Debido a las descargas constante de aceites y grasas en el mar, se ha venido estudiando sobre como eliminar estos residuos tan complejos de los ecosistemas, se han planteado diversas estrategias ambientales para reducir los A&G de las corrientes de aguas residuales generadas por distintos sectores industriales (Dumore & Mukhopadhyay, 2012).

TRATAMIENTOS

El mecanismo de eliminación de A&G de las aguas residuales consiste en tres tipos de tratamientos, como la absorción – desorción de partículas, la hidrólisis de los lípidos por microorganismos y la reducción de ácidos grasos por bacterias de lodos activados (Beldean-Galea et al., 2013). Siendo la más eficiente el uso de microorganismos para la remoción de A&G en plantas de tratamiento de aguas residuales, donde las grasas están involucradas en los procesos de biotransformación por bacterias de lodos activados (Beldean-Galea et al., 2013). Este proceso consiste en dos o tres pasos secuenciales con diferentes objetivos, en el primer tratamiento se elimina el aceite libre y los sólidos en suspensión; en el segundo tratamiento se elimina el aceite emulsionado por fuerzas de flotabilidad; en el tercer tratamiento se separa los A&G y el DQO con tecnologías más sofisticadas, cuyo objetivo es remover al máximo los A&G en las aguas residuales (Pintor et al., 2016). Según otros estudios determinaron que la actividad microbiana afecta significativamente en la cantidad y perfil de los ácidos grasos de cadena larga que se

encuentra en los sistemas de alcantarillado (He & Yan, 2016). Por otra parte, los A&G pueden servir como una fuente de energía por la generación de metano a partir de la co-digestión anaeróbica de los desechos lipídicos, sin embargo, aun no se da debido a la complejidad de entender el proceso (Salama et al., 2019). Otros estudios están analizando la biodegradación de los depósitos de A&G mediante el uso un compuesto similar a los A&G como el palmito de calcio, siendo uno de los tratamientos la biodegradación en condiciones aeróbicas y reducción de nitrato, obteniendo como resultado la remoción y degradación de los A&G en los sistemas de alcantarillado (He, Zhang, Cooney, & Yan, 2015). Existe otros estudios que mencionan la eficacia de remoción de contaminantes orgánicos como el tratamiento químico mejorado de flotación con aire disuelto, donde los niveles de A&G, DQO impregnado y DQOT en aguas residuales de restaurantes se han removido a menos de 50, 400 y 160 mg / L, respectivamente; además, al usar este tratamiento clarifica el agua y los residuos que se generan pueden reutilizarse, como el lodo que se puede reciclar como alimento para animales y los A&G para biodiesel (Chan, 2013). Actualmente, muchos de los establecimientos de comidas tratan sus aguas residuales de A&G con trampas de grasas, el cual consiste en atrapar los A&G antes que ingresen al sistema de alcantarillado, estos residuos se pueden encontrar en dos fases: Sólidos y líquidos; luego de haber recolectado el residuo, se pasa a su adecuada eliminación o reciclaje para convertirlo en una fuente de energía como el biodiesel (Nidzamuddin et al., 2015). Sin embargo, están surgiendo nuevos tratamientos como sorbentes orgánicos naturales que reducen el costo y aumentan la eficiencia de remoción de los A&G en las aguas residuales como la cascara de nuez, cascara de coco, etc. (pintor 2015).

NORMATIVAS

Según la FAO (2016), la producción de aceites y grasas aumentarán de un 4 a 5% en la producción global de A&G, en la cual se estima que alcanzarán 217.3 millones de toneladas para el 2017. Es por ello que es necesario que el estado promueva incentivos o programas de manejo y monitoreo a los establecimientos generadores de A&G. En el Perú existe un decreto supremo N°010-2019-VIVIENDA, la cual permite regular las descargas de aguas residuales de industrias y comercios en el sistema de alcantarillado, para efectuar dicha normativa, la empresa encargada de monitorear si se esta cumpliendo o no es Sedapal S.A.C. Además, se ha aprobado una metodología RCD N°025-2011-SUNASS-CD, la cual establece los pagos adicionales por el exceso de concentración de los parámetros como DBO, DQO, SST y A&G, para los usuarios no domésticos, esto permite que haya una mayor regulación y manejo de los residuos de A&G en cada industria y comercio y, por lo tanto, se busquen nuevas alternativas de tratamiento para reducir dichos contaminantes.

CONCLUSIONES

Los aceites y grasas presentan características físico – químicas que le dan un comportamiento complejo e insoluble en el agua, haciendo que sea difícil su degradación. La mayor fuente de generación de A&G son los restaurantes, debido a que estos utilizan insumos como aderezos, salsas, etc., que no se tratan antes de llegar a la línea de alcantarillado, ocasionando que con el tiempo se acumule y genere una obstrucción, bloqueo y desbordamiento de las aguas en el sistema de alcantarillado. Por otro lado, inhibe los microorganismos en la PTAR, haciendo que no se reduzca totalmente los A&G llegando al mar, provocando muertes a las especies. Actualmente, para remover los A&G se utilizan trampas de grasas, siendo muchas veces ineficientes en su tratamiento, por ello, han surgido nuevas tecnologías como los sorbentes orgánicos naturales que tienen un mayor porcentaje de remoción, además reutilizan los desechos orgánicos agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (OBLIGATORIO en formato APA)

- Affandi, I. E., Suratman, N. H., Abdullah, S., Ahmad, W. A., & Zakaria, Z. A. (2014). Degradation of oil and grease from high-strength industrial effluents using locally isolated aerobic biosurfactant-producing bacteria. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 95(PA), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.04.009>
- Bailey, A. E. (2001). *Aceites y grasas industriales*. Reverté.
- Beldean-Galea, M. S., Vial, J., Thiébaud, D., & Coman, V. (2013). Characterization of the fate of lipids in wastewater treatment using a comprehensive GC×GC/qMS and statistical approach. *Analytical Methods*, 5(9), 2315–2323. <https://doi.org/10.1039/c3ay00060e>
- Bratina, B., Šorgo, A., Kramberger, J., Ajdnik, U., Zemljich, L. F., Ekart, J., & Šafarič, R. (2016). From municipal/industrial wastewater sludge and FOG to fertilizer: A proposal for economic sustainable sludge management. *Journal of Environmental Management*, 183, 1009–1025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.063>
- Chan, H. (2010). Removal and recycling of pollutants from Hong Kong restaurant wastewaters. *Bioresource Technology*, 101(17), 6859–6867. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.104>
- Chan, H. (2013). Separation of pollutants from restaurant effluents as animal feed, fertilizer and renewable energy to produce high water quality in a compact area. *Water Resources and Industry*, 3, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.09.001>
- Coca, J., Benito, J. & Gutiérrez, G. (2011). *Water Purification and Management*. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9775-0>

- Dominic, C. C. S., Szakasits, M., Dean, L. O., & Ducoste, J. J. (2013). Understanding the spatial formation and accumulation of fats, oils and grease deposits in the sewer collection system. *Water Science and Technology*, 68(8), 1830–1836. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.428>
- Dumore, N. S., & Mukhopadhyay, M. (2012). Removal of oil and grease using immobilized triacylglycerin lipase. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 68, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.005>
- Franke, W., Ettl, M., Roldan, D., Kuhn, G., Langholm, A. M., & Amar, M. (2011). Fat, oil and grease - sewer contamination prevention strategies and double-dosage concept for fat traps and pressure mains. *Water Practice and Technology*, 6(2). <https://doi.org/10.2166/wpt.2011.036>
- Gross, M. A., Jensen, J. L., Gracz, H. S., Dancer, J., & Keener, K. M. (2017). Evaluation of physical and chemical properties and their interactions in fat, oil, and grease (FOG) deposits. *Water Research*, 123, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.072>
- He, X., de los Reyes, F. L., Leming, M. L., Dean, L. O., Lappi, S. E., & Ducoste, J. J. (2013). Mechanisms of Fat, Oil and Grease (FOG) deposit formation in sewer lines. *Water Research*, 47(13), 4451–4459. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.002>
- He, X., & Yan, T. (2016). Impact of microbial activities and hydraulic retention time on the production and profile of long chain fatty acids in grease interceptors: A laboratory study. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 2(3), 474–482. <https://doi.org/10.1039/c6ew00013d>
- He, X., Zhang, Q., Cooney, M. J., & Yan, T. (2015). Biodegradation of fat, oil and grease (FOG) deposits under various redox conditions relevant to sewer environment.

- Applied Microbiology and Biotechnology, 99(14), 6059–6068.
<https://doi.org/10.1007/s00253-015-6457-9>
- Iasmin, M., Dean, L. O., & Ducoste, J. J. (2016). Quantifying fat, oil, and grease deposit formation kinetics. Water Research, 88, 786–795.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.009>
- Keener, K. M., Ducoste, J. J., & Holt, L. M. (2008). Properties Influencing Fat, Oil, and Grease Deposit Formation. Water Environment Research, 80(12), 2241–2246.
<https://doi.org/10.2175/193864708x267441>
- Kobayashi, T., Kuramochi, H., & Xu, K. Q. (2017). Variable oil properties and biomethane production of grease trap waste derived from different resources. International Biodeterioration and Biodegradation, 119, 273–281.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.07.001>
- Lee, J., Jung, J. M., Park, C., Jeon, B. H., Wang, C. H., Lee, S. R., & Kwon, E. E. (2017). Rapid conversion of fat, oil and grease (FOG) into biodiesel without pre-treatment of FOG. Journal of Cleaner Production, 168, 1211–1216.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.096>
- Martin, S. (2017). Tackling the impact of FOG in drainage systems. Filtration and Separation, 54(2), 42–44. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(17\)30086-1](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(17)30086-1)
- Montefrio, M. J., Xinwen, T., & Obbard, J. P. (2010). Recovery and pre-treatment of fats, oil and grease from grease interceptors for biodiesel production. Applied Energy, 87(10), 3155–3161. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.011>

- Mudie, S., & Vahdati, M. (2017). Fat, oil and grease reduction in commercial kitchen ductwork: A novel biological approach. *Waste Management*, 61, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.041>
- Nidzamuddin, M. Y., Juffrizal, K., Mustapha, F., Zulfattah, Z. M., Tan, C. F., Taha, M. M., ... Hilwa, M. Z. (2015). Case study of the effectiveness of passive grease trap for management on domestic kitchen waste water. *AIP Conference Proceedings*, 1660. <https://doi.org/10.1063/1.4915742>
- Nieuwenhuis, E., Post, J., Duinmeijer, A., Langeveld, J., & Clemens, F. (2018). Statistical modelling of Fat, Oil and Grease (FOG) deposits in wastewater pump sumps. *Water Research*, 135, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.026>
- Pintor, A. M. A., Vilar, V. J. P., Botelho, C. M. S., & Boaventura, R. A. R. (2016). Oil and grease removal from wastewaters: Sorption treatment as an alternative to state-of-the-art technologies. A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 297, 229–255. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.121>
- Saatchi, A., Shiller, P. J., Eghtesadi, S. A., Liu, T., & Doll, G. L. (2017). A fundamental study of oil release mechanism in soap and non-soap thickened greases. *Tribology International*, 110(January), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.02.004>
- Salama, E. S., Saha, S., Kurade, M. B., Dev, S., Chang, S. W., & Jeon, B. H. (2019). Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 22–42. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.08.002>
- Santos, B., Galinha, C. F., Crespo, J. G., Santos, M. A., & Velizarov, S. (2013). Prediction of polar oil and grease contamination levels in refinery wastewater through

multivariate statistical modeling. *Separation and Purification Technology*, 119, 51–57.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.009>

Stoll, U., & Gupta, H. (1997). Management strategies for oil and grease residues. *Waste Management and Research*, 15(1), 23–32. <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0062>

Wake, H. (2005). Oil refineries: A review of their ecological impacts on the aquatic environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(1–2), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.08.013>

Wallace, T., Gibbons, D., O’Dwyer, M., & Curran, T. P. (2017). International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review. *Journal of Environmental Management*, 187, 424–435. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.003>

Williams, J. B., Clarkson, C., Mant, C., Drinkwater, A., & May, E. (2012). Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms. *Water Research*, 46(19), 6319–6328. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.002>

Yu, L., Han, M., & He, F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1913–S1922. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>