ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA PESQUERA

BIOLOGICAL ASPECTS IN THE ANAEROBIC DIGESTION OF THE FISH INDUSTRY WASTEWATER

Anchundia Eduardo[1]; Morales Edwin[1], Alvarado Sandy[1]

[1]Departamento de Procesos químicos, Universidad Técnica de Manabí, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Manabí, Ecuador

Correo: elopez9789@gmail.com

Resumen

La industria procesadora de pescado genera residuales con alto grado de contaminación en volúmenes considerablemente altos. Diversos reportes investigativos demuestran que las aguas residuales son vertidas en el mar sin tratamiento de remediación, por lo cual se afecta directamente la vida de las especies biológicas que habitan en medios acuíferos. Los tratamientos biológicos son procesos que permiten remover la carga contaminante de los residuales, sin embargo, entre ellos, la digestión anaerobia es la tecnología que genera mayores rendimientos y tolerancia a las características de las aguas residuales de esa industria. Por lo tanto, la presente investigación, consiste en la divulgación de tecnologías biológicas y aspectos operacionales de los tratamientos que han probado su efectividad sobre este residuo. Rendimientos de hasta el 95% de remoción de la demanda química de oxígeno sustentan la aplicación de esta tecnología en nuestro medio y sugieren que la combinación con tratamientos primarios y terciarios como la coagulación-floculación y adsorción permitiría generar un efluente que cumpla con las normativas ambientales para descargar el residuo en cuerpos hídricos sin alterar los ecosistemas.

Palabras clave: Industria pesquera; aguas residuales; contaminación; ecosistemas; biotratamientos.

Abstract

The fish processing industry generates waste with a high degree of contamination in considerable volumes. Various research reports show that wastewater is discharged into the sea without remediation treatment, so that the life of biological species that live in aquatic environments is directly affected. Biological treatments are processes that allow the removal of the contaminant load of the residuals, however, among them, anaerobic digestion is the technology that generates higher yields and tolerance to the characteristics of the wastewater of that industry. Therefore, the present investigation consists in the dissemination of biological technologies and operational aspects of the treatments that have proven their effectiveness on this residue. Yields of up to 95% of chemical oxygen demand removal support the application of this technology in our environment and suggest that the combination with primary and tertiary treatments such as coagulation-flocculation and adsorption would allow to generate an effluent that complies with environmental regulations to discharge the waste in water bodies without altering the ecosystems.

Keywords: Fish industry; wastewater; contamination; ecosystems; biotreatments.

Fecha de recepción: 10 de mayo del 2019
Fecha de aceptación: 22 de agosto del 2019

1. Introducción

El desarrollo industrial de la ciudad de Manta se debe en gran medida a su ubicación geográfica, puesto que se ha definido como el primer puerto pesquero de Ecuador y adicionalmente, es denominada como la capital atunera del país. Es por esta razón que la industria pesquera ha desarrollado sus actividades en esta ciudad, lo que si bien ha generado crecimiento económico, también ha traído consigo un aumento en los niveles de contaminación. En este rubro, las aguas residuales ocupan un importante espacio, debido principalmente a que las plantas procesadoras no cuentan con sistemas de tratamiento propios y por lo tanto, descargan en los cuerpos hídricos como ríos y mar, o bien en el sistema de alcantarillado doméstico (Marín-Leal et al., 2015). Corcoran et al., (2010) determinaron que más del 70% de los residuos generados por la industria son descargados en los ecosistemas.

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente (MAE, 2017) se encarga de controlar las descargas de aguas residuales. Durante el 2016, el MAE inició 70 procesos administrativos por descargas de aguas residuales en fuente hídricas. En concordancia, el MAE tiene la potestad de tomar varias medidas como: suspender la descarga, solicitar la regularización ambiental o tomar acciones legales en contra de los responsables, de acuerdo a la normativa vigente.

Las aguas residuales de las industrias que elaboran productos derivados del mar presentan alto contenido de salinidad (5730 mg/L), concentración de aceites y grasas (6,49 mg/L), materia orgánica disuelta expresada como demanda química de oxígeno (DQO) (2565,6 mg/L) y demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5.20}$) (2290,3 mg/L) (Marín-Leal et al., 2015). Las metodologías más empleadas para remediar estas aguas residuales se clasifican en tecnologías biológicas aerobias y anaerobias; las cuales han demostrado reducir altos niveles de materia orgánica disuelta.

A diferencia de los procesos aeróbicos, los tratamientos anaeróbicos presentan sustanciales ventajas para las plantas procesadoras de productos del mar. Los menores costos operativos, la producción de metano (biogás) y la baja generación de lodos son los puntos que resaltan la digestión anaerobia (Grando et al., 2017). Es por esta razón, que se

realizó una revisión de los aspectos biológicos y parámetros operativos que rigen la digestión anaerobia como vía de remediación de las aguas residuales de las plantas procesadoras de pescado.

2. Aguas residuales de las industrias procesadoras de pescado

Se estima que las plantas procesadoras de pescado generan aproximadamente 13627,4 m^3/d de aguas residuales, con propiedades tóxicas para las especies biológicas que habitan en los sistemas marinos o en ríos en los que se descargan de forman clandestina.

Las descargas líquidas de esta industria contienen residuos salinos, así como trazas de aceites y grasas. Otro parámetro que refleja el alto impacto ambiental que genera este residuo es la cantidad de materia orgánica, expresada en función de la DQO y DBO. A continuación, se muestra una comparación entre los principales parámetros e indicadores de contaminación de las aguas residuales de industrias pesqueras a nivel local y mundial (tabla 1).

Tabla 1. Características del agua residual de la industria pesquera reportadas en investigaciones mundiales y locales.

Parámetros	Caso gobal	Caso Manta
% sal	3,5-35	0,56-0,58
Aceites*	4000	5,42-7,56
DQO*	1000-18000	2330-2803
$DBO_{(5.20)}$*	100-3000	2168-2412

*Parámetros medidos en mg/L.

Fuente: Los datos del caso de estudio global fueron obtenidos de Chowdhury et al., (2010), mientras que para el caso Manta: Marín-Leal et al., (2015).

En ambos casos, el impacto ambiental que generan estas aguas residuales se debe al procesamiento del pescado, específicamente a las etapas de eviscerado y cocción (Banchón et al., 2016). Además, concentraciones de sal superiores a 0,5% inhiben los procesos biológicos depurativos (Chowdhury et al., 2009).

Se evidencia que tanto el caso de estudio global como a nivel local, reportan parámetros que se encuentran fuera de normativas ambientales ecuatorianas (tabla 2). A pesar de aquello, se denota que en el caso Manta, las aguas residuales se encuentran menos contaminadas que en otros países; presumiblemente, debido a que en muchas industrias ecuatorianas se emplean altas cantidades de agua para

diluir los residuos y por lo tanto, disminuir su concentración.

Tabla 2. Límites máximos permisibles para descargas en cuerpos de agua de mar y en el sistema de alcantarillado.

Parámetros	Mar	Alcantarillas
Aceites-grasas	0,3	100
DQO	250	500
$DBO_{(5.20)}$	100	250

*Parámetros medidos en mg/L.

Fuente: República de Ecuador (2008).

3. Tratamientos biológicos de remediación

Chowdhury et al., (2009) detallan los tratamientos que pueden ser empleados en la remediación de las aguas residuales de la industria procesadora de pescado. En este sentido, se han clasificado los tratamientos biológicos en dos tipos: aerobios y anaerobios.

3.1. Digestión aerobia

Las aguas residuales de la industria pesquera requieren cantidades de oxígeno mayores que las aguas residuales de otras industrias alimenticias. En promedio, requieren 3 kg O_2/ kg DBO_5 (Carawan et al., 1979). A continuación, se discuten los parámetros operativos de los principales bioreactores aeróbicos.

3.1.1. Contractores biológicos rotativos

Los contractores biológicos rotativos dependen de varios factores, entre ellos la velocidad de rotación del disco, inmersión del disco, tiempo de retención hidráulica. La elevada carga contaminante de las aguas residuales de la industria pesquera le otorga resistencia a los tratamientos convencionales, por lo que el tratamiento rotativo se posiciona con un alto nivel de aplicación sobre este residual, debido principalmente a su estabilidad. Se han realizado investigaciones que operaron con cargas orgánicas que van desde 0,184 kg/m^2 d hasta 0,369 kg/m^2 d (Najafpour et al., 2006), alcanzando elevadas tasas de remoción de la demanda química de oxígeno (tabla 3).

3.1.2. Lodos activados

El tratamiento de lodos activos consiste en un reactor de mezcla completa que presenta mayor estabilidad a los choques de carga orgánica y a los componentes inhibitorios para la digestión biológica, como el caso de los aceites y grasas. Debe considerarse que la aireación se realiza con cargas orgánicas bajas, cercanas a los 0,48 kg DBO_5/m^3 d. Por su parte, el periodo

óptimo de retención hidráulica es de 1 a 2 días (Carawan et al., 1979). La tabla 3 muestra la eficiencia de degradación de materia orgánica (DBO).

3.2. Digestión anaerobia

El proceso anaerobio ha probado remover altas cantidades de materia orgánica a diferentes cargas orgánicas. No obstante, su principal ventaja es que además de las mencionadas, produce un compuesto con valor energético: metano (CH_4).

3.2.1. Aspectos biológicos

En promedio, un reactor anaeróbico posee una población superior a las 1000 células por mL, de las cuales el 10% corresponde a bacterias metanogénicas (Gerardi et al., 2003). Las etapas de la digestión anaerobia son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La hidrólisis permite la ruptura de macromoléculas mediante la actividad biocatalítica de lipasas y amilasas. La acidogénesis faculta la producción de ácidos grasos volátiles y opera a pH ácido y altas velocidades de carga orgánica. La acetogénesis consiste en la conversión de los ácidos grasos volátiles en ácido acético mediante el complejo sinérgico establecido por el H_2 (Morales et al., 2018). Finalmente, la metanogénesis permite la transformación de ácido acético y dióxido de carbono en metano, todo esto mediante la actividad de microorganismos que operan a pH neutro y en total ausencia de oxígeno.

Otro factor importante es la termoestabilidad de las biomoléculas, debido a que el rendimiento celular es inversamente proporcional a la temperatura; por tanto se concluye que las temperaturas más adecuadas para la digestión anaerobia se definen en el rango mesofílico (35°C). En rangos termofílicos (50°C) se alcanzan rendimientos de metano cercanos al rendimiento teórico, aunque, en procesos continuos la biomasa disminuye, de modo que no se mantiene la fase de crecimiento celular constante (Amani et al., 2010).

3.2.2. Reactores UASB

Los reactores de flujo ascendente con manto de lodos (UASB por sus siglas en inglés) constituyen una tecnología que se aplica en muchos procesos de tratamiento residual a gran escala. El diseño del reactor se basa en la alimentación del afluente por la zona inferior del sistema, mientras que el

efluente y el biogás emergen por la zona superior del reactor, además cuentan con lodos que fueron inoculados previo al arranque de los biodigestores, lo cual le permite operar a altas cargas orgánicas. Palenzuela-Rollon et al., (2002) lograron trabajar con tasas de carga de 8 kg/m^3 d, en tiempos de retención hidráulica de 7,2 horas y alcanzaron niveles de remoción de DQO cercanos al 100% (tabla 3), no obstante, señalan que la presencia de lípidos disminuye la actividad biológica de los microorganismos, por lo tanto el proceso debe aplicarse en dos etapas.

3.2.3. Filtros anaerobios

En ocasiones, la naturaleza de las aguas residuales dificulta la estabilización de la biomasa, por lo tanto se requiere de un elemento físico que permita adherir los microorganismos. Los filtros anaerobios se acoplan en el sistema maximizando el potencial microbiológico de los biodigestores, aunque su principal desventaja es que no toleran elevadas velocidades de carga orgánica. En la tabla 3 se muestra el rendimiento de remoción de materia orgánica en residuos líquidos de la industria pesquera que fueron evaluados con cargas de 1,67 kg/m^3 d en tiempos de retención hidráulica de hasta 36 días (Prasertsan et al., 1994).

Tabla 3. Parámetros de operación en procesos aerobios y anaerobios de las aguas residuales de la industria pesquera.

Tratamientos	Carga orgánica	Remoción materia orgánica	Referencias
Contractores rotativos	0,018 -0,037 kg DQO /m^2 d	85-98% DQO	Najafpour et al., (2006)
Lodos activados aerobios	0,5 kg DBO_5/m^3 d	90-95% DBO_5	Carawan et al., (1979)
UASB	1-8 kg DQO /m^3 d	80-95% DQO	Palenzuela-Rollon et al., (2002)
Filtros anaerobios	1,67 kg DQO /m^3 d	60% DQO	Prasertsan et al. (1994)

Conclusiones

La industria pesquera es un sector manufacturero que genera residuos altamente peligrosos para la biota en los ecosistemas; puesto que se ha determinado que los niveles de materia orgánica, aceites-grasas y salinidad de las aguas residuales de esta industria superan los límites permisibles para la descarga en cuerpos hídricos.

En este sentido, los reactores anaerobios UASB permiten remover altas cantidades de materia orgánica (DQO), tolerando elevadas tasas de carga orgánica; no obstante, es necesario la aplicación de pretratamientos que disminuyan la concentración de componentes recalcitrantes para el desarrollo óptimo de la digestión anaerobia. Una opción interesante es la aplicación de coagulantes naturales que han probado su capacidad de reducir la materia suspendida y otros componentes inhibitorios como los lípidos.

Bibliografía

Amani, T., Nosrati, M., & Sreekrishnan, T. R. (2010). Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects-a review. *Environmental Reviews. 18*(NA): 255-278. Doi:10.1139/A10-011

Carawan, R.E., Chambers, J.V., Zall, J.V., (1979). Seafood Water and Wastewater Management. North Carolina Agricultural Extension Services, Raleigh, NC.

Chowdhury, P., Viraraghavan, T., & Srinivasan, A. (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review. *Bioresource Technology, 101*, 439-449. Doi:10.1016/j.biortech.2009.08.065

Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., and Savelli, H. (2010). Sick water? the central role of wastewater management in sustainable development: a rapid response assessment. UNEP/GRID-Arendal, Arendal, Norway.

Gerardi, M. (2003). *Wastewater microbiology series: The microbiology of anaerobic digesters.* John Wiley & Sons Inc, New York.

Grando, R. L., de Souza Antune, A. M., da Fonseca, F. V., Sánchez, A., Barrena, R., and Font, X. (2017). Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80*, 44-53. Doi:10.1016/j.rser.2017.05.079

MAE. (2017). Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente. Ministerio del Ambiente, Ecuador. Disponible en: http://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/. Revisado: 23 de enero de 2019.

Marín-Leal, J., Chinga-Panta, C., Velásquez-Ferrín, A., González-Cabo, P., & Zambrano-Rodríguez, L. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e ingeniería Neogranadina, 25*(1), 27-42.

Morales, C., Rivadeneira, B. & García, S. (2018). Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *Revista Espamciencia. 9*(1), 23-32

Najafpour, G., Zinatizadeh, A., Lee, L. (2006). Performance of a three-stage aerobic RBC reactor in food canning wastewater treatment. *Biochem. Eng. J. 30*, 297–302. Doi: 10.1016/j.bej.2006.05.013

Palenzuela-Rollon, A., Zeeman, G., Lubberding, H.J., Lettinga, G., Alaerts, G.J. (2002). Treatment of fish processing wastewater in a one- or two-step upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Sci. Technol. 45*(10), 207–212. Doi: 10.2166/wst.2002.0332

Prasertsan, P., Jung, S., Buckle, K.A., (1994). Anaerobic filter treatment of fishery wastewater. *World J. Microbiol. Biotechnol, 10*, 11–13.

República de Ecuador. (2008). Libro VI, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Anexo 1 (pp.286-340). Ecuador: Presidencia de la República de Ecuador.