

Título: remoción de contaminantes en efluentes de la industria taninera a través de un reactor anaerobio de lecho fluidizado.

Autor: Esp. Ing. Qca. Enid Marta Utgés

Director: Dra. Laura de Cabo

Fecha: 01-11-2016

Tema: tratamiento alternativo para un efluente industrial líquido con furfural.

1. Introducción

En el presente estudio se propone un tratamiento alternativo, industrialmente viable, para los efluentes líquidos provenientes de una fábrica de tanino - que contienen furfural - a través de un Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado que opera con un consorcio bacteriano autóctono, previamente aclimatado.

El furfural, fabricado a partir de aserrín de quebracho colorado - luego de extraerle el tanino -, genera un efluente líquido denominado “aguas madres”. Éstas poseen bajos valores de pH y contienen compuestos orgánicos complejos, principalmente ácido acético y hasta 3000 mg/L de furfural residual. Dichas sustancias convierten a las aguas madres en un efluente recalcitrante con efectos perjudiciales para los organismos que habitan los cuerpos de agua. Es por ello que requieren un tratamiento previo a su vertido.

Problema

La empresa está ubicada en el interior de la provincia del Chaco, Argentina. Las aguas madres actualmente son tratadas en la fábrica mediante un sistema de Pantanos Secos Artificiales – PSA – en el cual la remoción de contaminantes se efectúa por fitoextracción. El sistema mencionado ha presentado una serie de inconvenientes técnicos que provocaron la interrupción del tratamiento. Esto justifica la propuesta de un sistema alternativo.

Objetivo general

Determinar la eficiencia del reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF), construido a escala piloto, en el tratamiento del efluente industrial producido en la obtención de furfural.

Hipótesis de trabajo

Las “aguas madres” provenientes del proceso de obtención de furfural poseen contaminantes tóxicos para la biota.

Los microorganismos seleccionados para ser utilizados en el reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF), se desarrollan favorablemente en distintas concentraciones del efluente industrial “aguas madres”.

El RALF remueve los principales contaminantes del efluente industrial “aguas madres”.

Propósitos de la investigación / posibles aportes

Los resultados obtenidos en esta tesis proveerán un sistema alternativo al tratamiento actual - por PSA - del efluente industrial “aguas madres” que proviene del proceso de fabricación de furfural.

Metodología y organización de la Tesis

El problema radica en que el efluente industrial “aguas madres” presenta un pH muy bajo y niveles elevados de ácido acético y furfural, que podrían ser perjudiciales para organismos acuáticos que habiten en el cuerpo de agua receptor de dicho efluente. El sistema actual de tratamiento por PSA conlleva un número importante de complicaciones operativas. Se realizó la búsqueda bibliográfica de fuentes académicas – nacionales e internacionales – para recabar datos acerca de la degradación de efluentes industriales con furfural, mediante microorganismos inoculados en reactores de lecho fluidizado. Se formularon objetivos e hipótesis para demostrar que el consorcio bacteriano, previamente aclimatado, puede utilizar el furfural como fuente de carbono para crecer y que el RALF, operando con ese consorcio, es capaz de remover el furfural presente en el efluente. La metodología utilizada fue de tipo exploratoria, correlacional, mixta y cuantitativa. Se tomaron muestras de las aguas madres y del RALF, para caracterizarlas fisicoquímica y bacteriológicamente, y de tres sectores del sistema PSA para la extracción de bacterias autóctonas. Se realizaron ensayos de crecimiento bacteriano, con distintas concentraciones de furfural en aguas madres, tanto en aerobiosis como en condiciones de oxígeno reducido. Estas últimas fueron las seleccionadas para aclimatar las bacterias, a concentraciones elevadas de furfural, dado que emulan el ambiente generado en el reactor. Se diseñó, construyó y puso en marcha el RALF a escala laboratorio. Los resultados indican que las aguas madres poseen hasta 3000 mg/L de furfural. Al utilizarla en concentraciones de hasta 630 mg/L y conjuntamente con un medio nutritivo – aclimatación –, se apreció que las bacterias procedentes de lodos del sistema PSA tuvieron un crecimiento superlativo respecto de los otros dos sectores. Se concluye que el RALF, operando con ese consorcio aclimatado, fue eficiente dado que removió el 99,9% de los 500 mg/L de furfural presente en las aguas madres.

2. Antecedentes y Planteo teórico

De acuerdo con [Dunlop \(1948\)](#) y [Crönert \(1969\)](#), las aguas madres contienen sustancias orgánicas complejas entre las que se cuentan al ácido acético y al furfural. Esta combinación les confiere la característica de efluente industrial recalcitrante. Según [Granados \(2014\)](#), este término se asocia con la estabilidad biológica que presentan algunos compuestos resistentes a la biodegradación. Además, en algunas fichas de seguridad del furfural ([International Furano Chemical, 2003](#)) se hace alusión a la toxicidad de éste sobre algunos organismos acuáticos de agua dulce (peces: *Pimephales promelas* y *Poecilia reticulata*; crustáceo: *Daphnia magna*).

[Ran \(2014\)](#) sostiene que tanto el ácido acético como el furfural destruyen las membranas celulares e interfieren con el metabolismo intracelular microbiano. [Heipieper \(1994\)](#) menciona que el ácido acético ejerce una acción directa sobre la integridad de la membrana celular. [Singh \(1995\)](#) señala que la acción nociva de los derivados furánicos como el furfural, podría estar relacionada con la formación de compuestos con ciertas moléculas biológicas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Asimismo, [Sánchez Riaño \(2010\)](#), explica que el efecto sinérgico dado por la combinación de ácido acético y furfural, potencia los resultados observados y, particularmente, disminuye la tasa de crecimiento microbiano.

No obstante lo expuesto, las investigaciones de [Brune \(1983\)](#), [López \(2004\)](#) y [Wierckx \(2011\)](#) demuestran que para concentraciones diferentes de furfural, pero inferiores a 25-30 mM (miliMolar), no se observa inhibición en el crecimiento de distintos microorganismos. Específicamente, *Saccharomyces spp.* utiliza al furfural como fuente de carbono y lo reduce a alcohol furfurílico, según [Boopathy \(1991\)](#). En consonancia con lo descrito, [Pishgar \(2014\)](#) explica que para lograr que los microorganismos crezcan es indispensable una aclimatación previa; es decir, que el medio de cultivo debe contener los nutrientes esenciales así como furfural en aumentos paulatinos de concentración. También es importante que los microorganismos sean extraídos de lugares de la fábrica que estén en contacto directo con el furfural, como aclaran [López \(2004\)](#) y [Zheng \(2015\)](#).

Los reactores anaerobios de lecho fluidizado (RALF) se utilizan hace más de 20 años en varios países para degradar la materia orgánica de efluentes industriales. Según [Shieh \(1986\)](#) los RALF son reactores trifásicos gas-líquido-sólido

formados por biopartículas, es decir, un lecho de partículas sólidas de pequeño tamaño; sobre éstas se mantiene adherida la biomasa bacteriana, en forma de biopelícula, responsable de la degradación. Como explica [Hidalgo \(2003\)](#), dentro del RALF, los microorganismos digieren anaeróbicamente la materia orgánica presente en el efluente generando dióxido de carbono y metano; éste es aprovechable como biogás. Los RALF son elegidos además, según sostiene [Hidalgo \(2002\)](#) por ser menos costosos, requerir un mantenimiento relativamente sencillo, menos superficie para su funcionamiento y adaptarse a distintos efluentes.

Conceptos centrales

Las aguas madres contienen furfural y ácido acético como contaminantes principales. Varios antecedentes señalan que los efluentes industriales recalcitrantes, como las aguas madres, pueden ser tratados mediante la técnica de lecho fluidizado utilizando reactores anaerobios (RALF) con un lecho de partículas sólidas como soporte. En la fluidización se tiene en cuenta que el efluente ingresa al reactor por la parte inferior con la velocidad suficiente como para mantener el lecho de arena en suspensión. Luego de un cierto tiempo, crece la biomasa bacteriana adherida a las partículas de arena, formando la biopelícula. Los microorganismos utilizan el furfural como fuente principal de carbono y energía, degradándolo. El efluente tratado, corroborado a través de la disminución de furfural mediante cromatografía, egresa por la parte superior del reactor.

3. Materiales y Métodos

Se llevaron a cabo varias líneas de investigación interrelacionadas. La primera consistió en caracterizar fisicoquímica y bacteriológicamente a las aguas madres. La segunda, fue extraer bacterias autóctonas de tres sectores del sistema PSA y evaluar su capacidad de crecimiento en concentraciones crecientes de furfural en aguas madres. La tercera se centró en diseñar, construir y poner en marcha un reactor anaerobio de lecho fluidizado: RALF.

Se tomaron muestras de tres sectores del sistema de tratamiento de efluentes (PSA) de la fábrica: lodos y efluente crudo de los decantadores y raíces de especies vegetales. De esas muestras, se prepararon tres inóculos bacterianos. El ensayo de crecimiento del consorcio, empleando medios de cultivo líquidos y sólidos, se realizó en primera instancia en aerobiosis, utilizando los inóculos mencionados. En los

medios líquidos, las concentraciones abarcaron el rango de 2,5 a 80% v/v de furfural en agua madre; en los medios sólidos, desde 20 a 98% v/v de furfural en agua madre. De los tres inóculos bacterianos, el proveniente de los lodos mostró un amplio desarrollo en prácticamente todas las concentraciones. Por ello, el paso siguiente fue reproducir dicho ensayo en condiciones de oxígeno reducido. Esto dio inicio a la aclimatación en un medio líquido con sales minerales, con incrementos en la concentración de furfural en agua madre de 10 a 21% v/v.

Se diseñó, construyó y puso en marcha el reactor anaerobio de lecho fluidizado usando como soporte - para la adhesión del biofilm bacteriano - partículas de arena. Se eligió arena por ser químicamente inerte, resistente a la fricción, tamaño, uniforme de sus partículas y bajo costo. Se calcularon y adoptaron diversas variables de diseño y operativas tanto para el reactor como para el soporte y el efluente.

La alimentación del reactor consistió en un efluente sintético, de similares características que el efluente industrial aguas madres, y el inóculo previamente aclimatado. Dicho efluente se preparó con una concentración equivalente a 500 mg/L (16,7% v/v) de furfural en agua madre. Se tomaron muestras antes y después de alimentar el reactor, para evaluar los parámetros fisicoquímicos más relevantes y la concentración de furfural. La disminución de esta última refleja la eficiencia del reactor para remover, mediante el consorcio bacteriano, el furfural introducido.

4. Resultados y Discusión

Hallazgos específicos

La concentración de **furfural** residual presente en las aguas madres es de aproximadamente **3000 mg/L**, muy elevada si se la contrasta con el valor teórico de 70-80 mg/L en las aguas madres, indicado por **Crönert (1969)**. Las posibles causas podrían ser: suciedad o alimentación excesiva de la primera columna de destilación.

Los ensayos de crecimiento bacteriano en aerobiosis - para los tres inóculos en medios de cultivo líquido - dieron como resultado el desarrollo bacteriano en prácticamente todas las concentraciones de furfural en agua madre, excepto en la que contenía furfural al 80% v/v. Las bacterias procedentes de los lodos de las piletas sedimentadoras (PSA) manifestaron mayor tolerancia – comparadas con los otros dos inóculos – y se desarrollaron más ampliamente.

El valor de 80% v/v de furfural en aguas madres, donde no hubo crecimiento bacteriano, podría ser la concentración inhibitoria, para estos ensayos. Al respecto, [Zaldívar \(1999\)](#), hace alusión a ciertas concentraciones de furfural que inhiben el crecimiento del 25, 50 y 100% (IC_{25} , IC_{50} e IC_{100}), de la población microbiana analizada, a las 24 horas. Las IC_{25} , IC_{50} e IC_{100} , corresponden a concentraciones de 2,0; 2,4 y 3,5 g/L de furfural, respectivamente. Una concentración de 80% v/v equivale a la concentración de 2,4 g/L indicada por [Zaldívar \(1999\)](#). Éste valor coincide con la IC_{50} , concentración que en sus estudios inhibió sólo al 50% de la población bacteriana; en esta investigación, inhibió al 100%. La explicación podría ser que en los estudios llevados a cabo por [Zaldívar \(1999\)](#), sólo se probó un único contaminante en concentraciones diferentes: furfural. En los ensayos realizados en esta investigación, las aguas madres no sólo contienen furfural sino también ácido acético. [Sánchez Riaño \(2010\)](#) explica que el efecto sinérgico dado por la combinación de ácido acético y furfural disminuye la tasa de crecimiento microbiano. Con respecto al furfural, [Boopathy \(2009\)](#) resalta su capacidad germicida y también la de reprimir el crecimiento de los microorganismos.

Fue posible lograr el crecimiento bacteriano en aerobiosis hasta un 60% v/v de furfural en agua madre porque esa concentración es inferior a la IC_{25} señalada por [Zaldívar \(1999\)](#).

En condiciones de oxígeno reducido, la aclimatación paulatina del inóculo proveniente de lodos, sólo prosperó hasta un 21% v/v (0,63 g/L) de furfural en agua madre. En condiciones anaerobias, [Boopathy \(2009\)](#) menciona que concentraciones de furfural oscilando entre 0,096 y 1,15 g/L, inhiben a muchos microorganismos. Teniendo en cuenta estas observaciones, es dable decir que los 0,63 g/L de furfural estarían comprendidos dentro del rango citado, por lo cual fue posible observar el desarrollo bacteriano y por ello, con concentraciones superiores a la informada, no se logró el crecimiento.

En diversos Reactores Anaerobios de Lecho Fluidizado – RALF – el tiempo de retención hidráulico, TRH, o tiempo que permanece el efluente a ser tratado dentro del reactor, generalmente es menor a 1 día porque la biomasa crece adherida al soporte según señala [Hidalgo \(2002\)](#). Esto se comprobó porque el furfural fue degradado totalmente a las 20 horas de operación.

En un TRH de 20 horas, la concentración inicial de 500 mg/L de **furfural** descendió prácticamente a 0 mg/L, resultando en una eficiencia de degradación del 99,88%. La **DQO**, inicialmente de 5603 mg/L, mostró una tendencia poco pronunciada al descenso, alcanzándose una concentración final de 4638 mg/L. La mayor remoción de DQO se dio durante esas 20 horas y su eficiencia fue del 10,8%. Luego, decreció sólo un poco más lográndose una eficiencia total de remoción del 17%, durante la última etapa de operación del reactor.

Relación entre hallazgos y otras investigaciones

[Brune \(1983\)](#), [López \(2004\)](#) y [Wierckx \(2011\)](#), señalan que aquellas concentraciones de furfural que estén por debajo de 25-30mM (miliMolar), no ocasionan inhibición en el crecimiento de los microorganismos aerobios estudiados. Esto se verificó porque la concentración del 60% v/v de furfural, correspondiente a 18,73mM, es inferior al rango estipulado por esos autores. En cambio, la concentración de 80% v/v de furfural, que equivale a 25 mM, inhibió el crecimiento microbiano.

La elección del diseño anaerobio del reactor de lecho fluidizado, se basó en los estudios de [Boopathy \(2009\)](#). Él expone que muchos efluentes industriales que contienen furanos, como el furfural, pueden ser tratados a través de digestores anaerobios. Esto se comprobó al obtener una eficiencia de remoción de furfural del 99%.

5. Conclusiones

El efluente proveniente del proceso de fabricación de furfural – aguas madres –, presenta altos niveles de sustancias orgánicas complejas: ácido acético y furfural residual que otorgan al efluente características tóxicas para los organismos vivos y por ello resulta, en principio, complicado de tratar biológicamente. Las aguas madres carecen de microorganismos coliformes totales y fecales y poseen bajos valores de pH. Las elevadas concentraciones promedio de DBO₅ y DQO obtenidas, indican una carga orgánica moderadamente degradable.

Los tres inóculos (raíces, lodos y efluentes) se desarrollaron en casi todas las concentraciones de furfural, excepto en la del 80% v/v. Sin embargo, los provenientes de los lodos presentaron mayor tolerancia a la concentración más alta

de furfural. Por esa razón se los eligió para comenzar la adaptación en condiciones de oxígeno reducido.

El proceso de aclimatación bacteriana a concentraciones crecientes de furfural y en condiciones de oxígeno reducido, demostró que es posible lograr el desarrollo hasta 630 mg/L de furfural en agua madre.

En un tiempo de retención hidráulico – TRH – de 20 horas, se comprobó la eficiencia del RALF construido, al lograr remociones de Furfural y DQO del 99,9 y 17%, respectivamente.

Recomendaciones

Realizar un relevamiento de las industrias más contaminantes de la zona para caracterizar sus efluentes y saber si poseen o no, tratamiento. Asimismo, extraer muestras de suelos, lodos o líquidos, de aquellos lugares que estén en contacto directo con los contaminantes, de manera de obtener un consorcio bacteriano autóctono.

Diseñar y construir un reactor aerobio de lecho fluidizado, que opere en serie con el RALF, para mejorar la eficiencia de remoción de DQO.

Ensayar soportes diferentes a la arena - sepiolita, polímero sintético y carbón activado - para evaluar la posibilidad de incrementar la biomasa bacteriana y mantener la biopelícula activa por más tiempo.

6. Bibliografía

APHA, AWWA, y WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Washington, D.C: American Public Health Association.

Area, M., Ojeda, S., Barboza, O., Bengoechea, D., Felissia, F. (2010). Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos (revisión). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 12 (13), 4-12. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Arnáiz, C., Medialdea, M., Lebrato, J., y Gutiérrez, J. (2002). Eliminación biológica de contaminantes (y III). Reactores de tercera generación. *Ingeniería Química*, (391), 115-120. Recuperado de <http://portal.bibliotecas.utn.edu.ar/proxy>

- Barreira Moreno, V. (2007). *Estudio hidrodinámico de un lecho fluidizado*. Recuperado de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/1161/pfc_lecho_fluidizado.pdf?sequence=1.
- Benavides López de Mesa, J., Quintero, G., y Ostos Ortiz, O. (2006). Aislamiento e identificación de 10 cepas bacterianas desnitrificantes a partir de un suelo agrícola contaminado con abonos nitrogenados proveniente de una finca productora de cebolla en la laguna de Tota, Boyaca Colombia. *NOVA publ. cient*, 5(6), 50-54. Recuperado de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA6_ARTORIG4.pdf
- Rodriguez, G., y Silva, A. (2008). *Aislamiento e identificación de flora bacteriana nativa del suelo de los Páramos Cruz Verde y Guasca (Cundinamarca)*. Recuperado de <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis145.pdf>
- Boopathy, R., & Daniels, L. (1991). Isolation and characterization of a furfural degrading sulfate-reducing bacterium from an anaerobic digester. *Current Microbiology*, 23(6), 327-332. Recuperado de la base de datos ResearchGate.
- Boopathy, R. (2009) Anaerobic biotransformation of furfural to furfuryl alcohol by a methanogenic archaeobacterium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(8), 1070–1072. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.
- Brownlee, H., & Miner, C. (1948). Industrial development of furfural. *Industrial & Engineering Chemistry*, 40(2), 201-204.
- Brune, G., (1983), Schoberth, S., & Sahm, H. (1983). Growth of a strictly anaerobic bacterium on furfural (2-furaldehyde). *Applied and environmental microbiology*, 46(5), 1187-1192. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC239539/pdf/aem00168-0231.pdf>
- Calvo Vélez, P., Meneses, L., y Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanumtuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 144-148. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a17v7n1-2.pdf>
- Carrillo, L., (2003). *Microbiología Agrícola. Los hongos de los alimentos y forrajes*. Salta: Universidad Nacional de Salta.

- Coto Pérez, O. (2006). Atenuación natural de suelos contaminados con residuos tóxicos de origen minero. *Aislamiento y caracterización microbiana*. Recuperado de http://pendientedemigracion.ucm.es/info/biohidro/Coto_Orquidea.pdf.
- Crönert, H., Loeper, D. (1969). New industrial paths in the continuous production of furfural. *Escher Wyss News*, 2, 69-77.
- Dunlop, A. (1948). Furfural formation and behavior. *Industrial & Engineering Chemistry*, 40(2), 204-209.
- Fariás, A., Utgés, E., Tenev, M., Hervot, E., Utgés, E., M., Baccaro, J., y Mlot, Z. (agosto, 2015). *Ensayo de crecimiento bacteriano en un efluente industrial recalcitrante*. Trabajo presentado en el Congreso V PROIMCA y III PRODECA, La Rioja.
- Felissia, F., Barboza, O., Bengoechea, D., y Area, M. (2010). Reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados semiquímicos mediante precipitación química. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (13), 0-0. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100005.
- Fernández Linares, L., Rojas Avelizapa, N., Roldán Carrillo, T., Ramirez Islas, M., Zegarra Martínez, H., Uribe Hernandez, R., Reyes Ávila, R., Flores Hernández, D. y Arce Ortega, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/509.pdf>
- Foust, A., Wenzel, L., Clump, C., Maus, L. y Anderson, L., (2006). Principio de Operaciones Unitarias. México: Compañía Editorial Continental.
- Granados, D. (2014). *Catabolismo de furfurales y compuestos aromáticos en "Pseudomonas pseudoalcaligenes" CECT 5344: Aislamiento de nuevas cepas asimiladoras de cianuro y sus complejos metálicos*. (Tesis de Doctorado). Universidad de Extremadura, Badajoz. Recuperado de http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/2462/TDUEX_2014_Macias_Granados.pdf?sequence=1
- Hareland, W., Crawford, R., Chapman, P., & Dagley, S. (1975). Metabolic function and properties of 4-hydroxyphenylacetic acid 1-hydroxylase from *Pseudomonas*

acidovorans. *Journal of Bacteriology*, 121(1), 272-285. Recuperado de <http://jb.asm.org/content/121/1/272.full.pdf>

Hernández, A., Alfaro, I., y Arrieta, R. (2003). *Microbiología Industrial*. Costa Rica: Editorial UNED, Universidad Estatal a Distancia.

Heipieper, H., Weber, F., Sikkema, J., Keweloh, H., & de Bont, J., (1994). Mechanisms of resistance of whole cells to toxic organic solvents. *Trends in Biotechnology*, 12(10), 409-415. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.

Hidalgo, M., García Encina, P. (2002). Reactores biológicos de lecho fluidizado. *Ingeniería química*, (391), 122-133. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Hidalgo, M., Del Alamo, J., Hernández, M., Irusta, R (2003). Tratamiento de la fracción líquida del purín porcino en bio-reactores anaerobios de lecho fluidizado. *Ingeniería del agua*, 10(2), 127-133. Recuperado de <http://www.polipapers.upv.es/index.php/IA/article/viewFile/2579/2561>

International Furano Chemicals B.V. (2003). Furfural. Ficha de datos de seguridad. Recuperado de https://www.furan.com/_resources/downloads/10195es_rev6.pdf

Koenig, K., & Andreesen, J. (1989). Molybdenum involvement in aerobic degradation of 2-furoic acid by *Pseudomonas putida* Fu1. *Applied and environmental microbiology*, 55(7), 1829-1834. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC202958/pdf/aem00100-0175.pdf>

Levenspiel, O. (1998). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Barcelona: Editorial Reverté, S. A.

López, M., Nichols, N., Dien, B., Moreno, J., & Bothast, R. (2004). Isolation of microorganisms for biological detoxification of lignocellulosic hydrolysates. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(1), 125-131. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Meybeck, M., Kuusisto, E., Mäkelä, A., & Mälkki, E. (1996). *A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme*. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/waterqualmonitor.pdf

McCabe, W., Smith, J., y Harriot, P. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.

Mitsuoka, T., Morishita, Y., Terada, A., & Yamamoto, S. (1969). A Simple Method (“Plate-in-Bottle Method”) for the Cultivation of Fastidious Anaerobes. *Japanese journal of microbiology*, 13(4), 383-385. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1348-0421.1969.tb00482.x/pdf>

Nadeo, J., y Leoni, A. (2016). *Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos*. Recuperado de <http://docplayer.es/5768041-Introduccion-a-algunas-propiedades-fundamentales-de-los-suelos.pdf>

Navarro, A., y Palladino, L. (2009). Degradación de efluentes líquidos mediante lechos fluidizados. *Información tecnológica*, 20(5), 13-18. Recuperado de la base de Scielo.cl.

Nicklasson, M. (2008). *Studies on the expression and regulation of enterotoxins and colonization factors in enterotoxigenic Escherichia coli (ETEC)*. Recuperado de <https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/9610/1/EPUBRAM.pdf>

Ochieng, A., Ogada, T., Sisenda, W., & Wambua, P. (2002). Brewery wastewater treatment in a fluidised bed bioreactor. *Journal of Hazardous Materials* 90(3), 311-321. Recuperado de la base de datos de ScienceDirect.

Oliva, J. (2003). *Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre Kluyveromyces marxianus*. (Tesis de Doctorado). Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas. Madrid. Recuperado de <http://www.biblioteca.ucm.es/tesis/bio/ucm-t26833.pdf>

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M., Rodríguez Vidal, F., y Alfayate Blanco, J. (2008). Contaminación ambiental. Una visión desde la Química. Madrid: Paraninfo Cengage Learning.

Ortega, V. (1987). *Observatorio de desarrollo sostenible. Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo. Nuestro futuro común*. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de http://www.uisek.edu.ec/pdf/observatorio/resena_futuro_comun.pdf

OSHA, (2015). Occupational Safety & Health Administration. Chemical Sampling Information. Recuperado de:
https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_242900.html

Pagliettini, L. (2014). *Los recursos hídricos. Instrumentos económicos para su gestión*. Buenos Aires: Imago Mundi.

Palmqvist, E., Grage, H., Meinander, N., Hahn-Hägerdal, B. (1999). Main and interaction effects of acetic acid, furfural and p-hydroxibenzoic acid on growth and ethanol productivity of yeasts. *Biotechnology and bioengineering*, 63(1), 46-55. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Panigatti, M., Grifa, C., Boglione, R., Gentinetta, F., Cassina, D., Siri, J., Torres, J., Rosso, P., Abraham, M., Ferreyra, D. (octubre, 2010). *Diseño de un biorreactor de lecho fluidizado para tratamiento de cromo hexavalente*. Trabajo presentado en World Congress & Exhibition ENGINEERING, Buenos Aires.

Peñas, F., y Safont Resardi, B. (2010). *Operación de un reactor biológico para tratar agua residual fenólica*. Universidad de Navarra. Recuperado de mustaphahached.free.fr/telechargements/erasmus/.../pascual_unav.pdf

Perry, R., Green, D., Maloney, J. (2001). *Manual del Ingeniero Químico, Volumen I*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Pishgar, R., Najafpour, G. D., Neya, B. N., Mousavi, N., & Bakhshi, Z. (2014). Effects of organic loading rate and hydraulic retention time on treatment of phenolic wastewater in an anaerobic immobilized fluidized bed reactor. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(1), 40-49. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Prieto Jimenez, M. (1995). Caracterización molecular de la ruta catabólica del 4-hidroxifenilacetato de *Escherichia coli* W. Recuperado de <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19911996/D/1/AD1020401.pdf>

Puyal, P. (2010). *Diseño preliminar para el tratamiento de efluente de alta carga generado por actividad del procesamiento de tanino vegetal a partir del quebracho*. Memoria técnica. New England Waste Systems S.A.

- Quintero Rendón, L. A. (2011). *Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por un consorcio microbiano, en lecho fluidizado*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/7224/1/42799998._2012._Parte_1.pdf
- Rabah, F., & Dahab, M (2004). Biofilm and biomass characteristics in high-performance fluidized-bed biofilm reactors. *Water research*, 38(19), 4262-4270. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.
- Ramallo, R., Beltrán, D., y de Lora, F. (1990). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Ramírez-Mata, A., Fernández-Domínguez, I., Nuñez-Reza, K., Xiqui-Vázquez, M., y Baca, B. (2014). Redes de señalización en la producción de biopelículas en bacterias: quorum sensing, di-GMPc y óxido nítrico. *Revista argentina de microbiología*, 46(3), 242-255. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.
- Ran, H., Zhang, J., Gao, Q., Lin, Z., & Bao, J. (2014). Analysis of biodegradation performance of furfural and 5-hydroxymethylfurfural by *Amorphothecaresinae* ZN1. *Biotechnology for Biofuels*, 7(1), 1. Recuperado de <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-7-51>
- Rivard, C., & Grohmann, K. (1991). Degradation of furfural (2-furaldehyde) to methane and carbon dioxide by an anaerobic consortium. *Applied biochemistry and biotechnology*, 28, 285-295. Recuperado de la base de datos SpringerLink.
- Sánchez Ortiz, I., Teixeira Correia, G., Santos de Araújo, L., Gebara, D., Dall' Aglio Sobrinho, M., y Matsumoto, T. (2010). Reactores aerobios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna: caracterización hidrodinámica y del soporte. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (56), 68-77. Recuperado de la base de datos Scielo-Scientific Electronic Library Online.
- Sánchez Riaño, A, Gutiérrez Morales, A., Muñoz Hernández, J., y Rivera Barrero, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5), 61-91. **Recuperado de** <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3628225.pdf>

- Saucedo, R., Manzanares, L., Nevárez, V., Bautista, R., Solís, F., Córdoba, L., Carrasco, J., y Andrade, C. (2007). Concentración de biopelícula y eficiencia de un reactor de lecho fluidizado empacado con dos nuevos materiales de soporte. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 91-101. Recuperado de la base de datos ResearchGate.
- Schmidell, W., Moreira Soares, H., Etchebehere, C., Menes, R., Bertola, N., y Contreras, E. (2007). *Tratamiento Biológico de Águas Residuárias*. Florianópolis: Gráfica Paper Print.
- Shieh, W., & Keenan, J (1986). Fluidized bed biofilm reactor for wastewater treatment. *Advances in biochemical engineering, biotechnology*, 33, 131-169. Recuperado de la base de datos ResearchGate.
- Singh, N., & Khan A. (1995). Acetaldehyde: Genotoxicity and cytotoxicity in human lymphocytes. *Mutation Research/DNA Repair*, 337(1), 9-17. Recuperado de la base de datos ResearchGate.
- Tavares, C., Sant'Anna, G., & Capdeville, B. (1995). The effect of air superficial velocity on biofilm accumulation in a three-phase fluidized-bed reactor. *Water Research*, 29(10), 2293-2298. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.
- Tchobanoglous, G., y Burton, F (1995). *Ingeniería Sanitaria Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*, Metcalf & Eddy, Inc. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.
- Valencia Montoya, G. (s.f.). *Características de aguas residuales y lodos*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>
- Wierckx, N., Koopman, F., Ruijsenaars, H., & de Winde, J. (2011). Microbial degradation of furanic compounds: biochemistry, genetics, and impact. *Applied microbiology and biotechnology*, 92(6), 1095-1105. Recuperado de la base de datos SpringerLink.
- Wirtz, R., & Dague, R. (1993). Anaerobic treatment of a furfural-production wastewater. *Waste Management*, 13(4), 309-315. Recuperado de la base de datos ScienceDirect.
- Zaldivar, J., Martinez, A., & Ingram, L. (1999). Effect of selected aldehydes on the growth and fermentation of ethanogenic *Escherichia coli*. *Biotechnology and Bioengineering*, 65(1), 24-33. Recuperado de la base de datos ResearchGate.

Zheng, D., Bao, J., Lu, J., & Gao, C. (2015). Isolation and characterization of a furfural-degrading bacterium *Bacillus cereus* sp. strain DS1. *Current microbiology*, 70(2), 199-205. Recuperado de la base de datos SpringerLink.