



III CADI  
IX CAEDI  
2016



## TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SINTÉTICO CON FURFURAL MEDIANTE BACTERIAS AUTÓCTONAS ACLIMATADAS EN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

**Alejandro Rubén Farías**, UTN-FRRe, alefarias@frre.utn.edu.ar

**Enrique Eduardo Utgés**, eutges@hotmail.com

**María Daniela Tenev**, UTN, mdtenev@gmail.com

**Elsa Ivone Hervot**, UTN, elshervot@yahoo.com.ar

**Enid Marta Utgés**, UTN, enidutges@gmail.com

**María Florencia Nocenti**, UTN, florencianocenti@gmail.com

Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos (GISTAQ), Universidad  
Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, gistaq@gmail.com

**Resumen**— El objetivo de este estudio fue proponer un tratamiento alternativo para el efluente líquido de una industria taninera que también produce furfural, empleando un reactor anaerobio de lecho fluidizado, RALF. Ese efluente, denominado aguas madres, contiene hasta 3000 ppm de furfural. Para realizar su remoción, se obtuvieron bacterias de lodos de los sedimentadores del tratamiento actual por Pantanos Secos Artificiales y se las adaptó a concentraciones crecientes de furfural. Se diseñó y construyó un RALF, a escala piloto, para tratar un efluente sintético de similares características que las aguas madres. Dicho reactor operó con un consorcio bacteriano aclimatado y se monitoreó su desempeño, analizando la formación del biofilm y los porcentajes de remoción logrados. Los resultados a escala laboratorio demostraron que es posible adaptar bacterias a concentraciones de hasta 500 ppm. El reactor ensayado resultó eficiente y pudo ser utilizado para evaluar la degradación del furfural. Se obtuvieron porcentajes de remoción de hasta 99,91% en 20 horas de operación.

**Palabras clave**— *Degradación, furfural, adaptación, consorcio microbiano autóctono, reactor anaerobio de lecho fluidizado.*

### 1. Introducción

Uno de los problemas ambientales más complejos que se presenta actualmente, es el vuelco de efluentes industriales a cursos naturales de agua, sin un adecuado tratamiento o simplemente sin éste. El presente estudio se realizó sobre los efluentes de una planta productora de furfural de una industria taninera, ubicada en la localidad de La Escondida, Chaco. La fabricación de este aldehído heterocíclico a partir de aserrín de quebracho colorado, después de extraerle el tanino, genera en la primera etapa de destilación un efluente líquido denominado aguas madres. Éstas carecen de microorganismos, poseen bajos valores de pH y altas concentraciones de compuestos orgánicos, particularmente ácido acético, y alrededor de 3000 ppm de furfural. Tales compuestos,

de características complejas, constituyen un efluente recalcitrante y deben ser eliminados debido al efecto tóxico que tienen sobre los seres vivos. Dicha toxicidad, se relacionaría con la formación de compuestos con determinadas moléculas orgánicas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos [1] y también, con daños sobre la membrana plasmática[2]. Por otra parte, las cantidades de estos compuestos no son suficientes para que se justifique la instalación de una planta de recuperación.

Como todo efluente industrial, previamente a su vuelco a un cuerpo receptor, debe ser sometido a un tratamiento para que los parámetros cumplan con los valores de vuelco que establece la Ley Provincial N°3230: “Código de Aguas de la Provincia del Chaco”.

El volumen aproximado de efluente líquido generado en la planta industrial es de 400m<sup>3</sup>/día, incluyendo el aporte de 20 m<sup>3</sup> de efluentes cloacales. Cuando es necesario mantener el nivel de las lagunas sedimentadoras, se añade un volumen adicional proveniente del depósito final del tratamiento de efluentes. Esa mezcla, junto con las aguas madres previamente mencionadas, constituye lo que se denominará *efluente industrial*.

Durante muchos años, la planta de tratamiento de efluentes consistió en una serie de grandes lagunas llamadas Evaporativas. Estas se fueron colmatando con el tiempo, llegando a un límite de capacidad de depuración. Por tal motivo, durante el año 2012 se construyó una nueva planta de tratamiento denominada “Sistema de Tratamiento por Pantanos Secos Artificiales (PSA)”, New England Waste Systems S.A., tecnología patentada[3]. Los pantanos secos se caracterizan por no poseer espejo de agua, de aquí proviene su nombre, previniendo de esta manera la proliferación de insectos. El plano de la instalación de PSA se observa en la Figura 1.

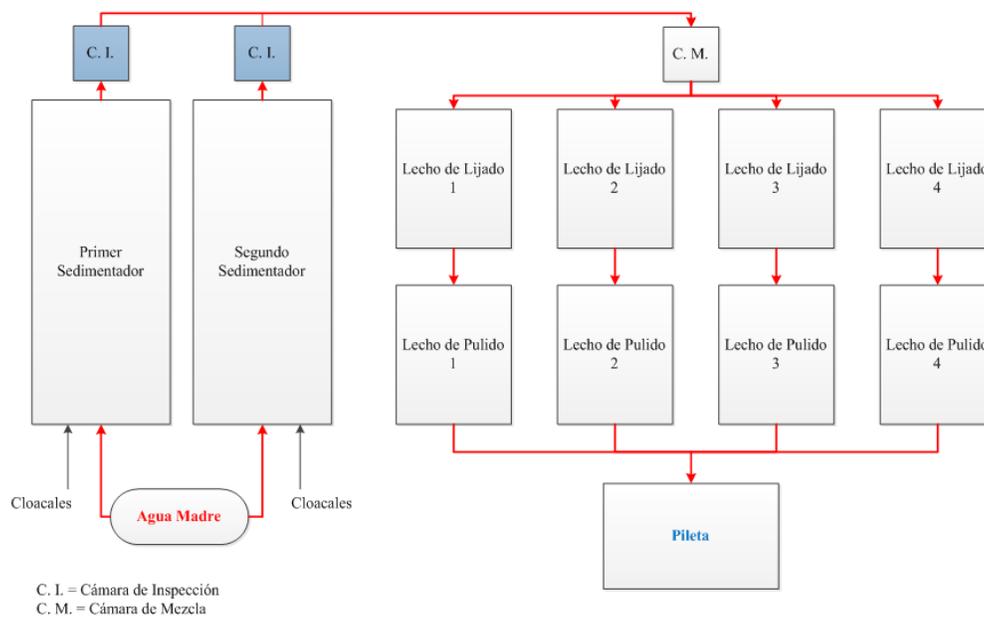


Figura 1. Plano de la instalación de PSA.

Fuente: elaboración propia.

El tratamiento por PSA consta de dos lagunas sedimentadoras, cuatro de lechos de lijado, cuatro lechos de pulido y un depósito final. El efluente industrial crudo ingresa a las lagunas y desde allí pasa por gravedad y, secuencialmente, a los lechos donde la biorremoción de materia orgánica se

efectúa por fitoextracción a cargo de las totoras. El efluente tratado se bombea a un depósito final para luego ser reingresado al tratamiento, de ser necesario.

Los PSA constituyen un método totalmente natural que utiliza la capacidad depuradora de plantas. En un principio, se utilizaban gramíneas canadienses para la remoción, pero éstas fueron desplazadas luego por totoras autóctonas (*Typhadomingensis*) como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Gramíneas Canadienses desplazadas por Totoras.  
Fuente: elaboración propia.

Como los resultados obtenidos con este tratamiento no han sido totalmente satisfactorios, se propuso desde el Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos (GISTAQ) un tratamiento alternativo utilizando un “Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado (RALF)”. En éste, la remoción estará a cargo de un consorcio microbiano autóctono extraído de los lodos del fondo de las lagunas sedimentadoras, siendo ésta una zona impactada directamente por el furfural, que es el compuesto a degradar. Se tuvo en cuenta además, que los lodos constituyen en sí mismos un medio anaeróbico, de características similares a las condiciones proyectadas para el funcionamiento del RALF, donde hay más probabilidades de encontrar bacterias anaerobias o facultativas.

Lograr eficiencia en la eliminación de compuestos tóxicos de un efluente industrial, depende casi exclusivamente de la aclimatación del consorcio microbiano encargado de ello, previo a su inoculación al reactor. El proceso consiste en adaptarlo a un medio con una fuente de carbono principal (sustrato a degradar), una fuente de carbono adicional y enriquecido con fuentes de fósforo, nitrógeno y minerales. De esta manera, se logran procesos con mejor rendimiento [4]. Por los motivos antes mencionados, las bacterias provenientes de los lodos, fueron aclimatadas en condiciones de anaerobiosis a concentraciones crecientes de furfural. Este proceso se efectúa previo a su utilización dentro del reactor, para mejorar el rendimiento de la degradación.

Los RALF son reactores biológicos trifásicos (gas-líquido-sólido) donde gran cantidad de masa microbiana - biopelícula - se encuentra inmovilizada en soportes inertes [5]. El sistema consiste en un tubo cilíndrico que contiene en su interior un lecho de partículas (arena) sobre las que se adhiere la biomasa y, a través del cual, circula el efluente líquido a tratar de manera ascendente, con la velocidad necesaria para generar la fluidización. En la Figura 3 se muestra el esquema de un reactor anaerobio de lecho fluidizado.

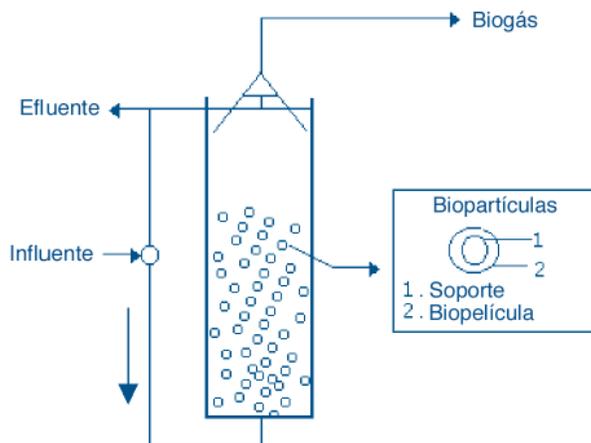


Figura 3. Esquema de un Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado.

Fuente: Hidalgo, M.D., García Encina, P. A. (2002).

La elección de un RALF preferentemente a otros reactores, se debe a que permite trabajar con altos valores de carga orgánica, es especialmente efectivo en el tratamiento de aguas con compuestos recalcitrantes y favorece el transporte de células microbianas del seno del líquido a la superficie del soporte, incrementando el contacto entre los microorganismos y el sustrato [6]. Además, los reactores anaerobios son los que menos afectados se ven por interrupciones y condiciones adversas de operación [7].

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, los objetivos del presente trabajo fueron:

- Aislar las bacterias de los lodos del fondo anaerobio de las lagunas sedimentadoras y aclimatarlas a concentraciones crecientes de furfural.
- Diseñar, construir y poner en marcha el reactor anaerobio de lecho fluidizado.
- Ensayar el reactor con un efluente sintético - de similares características que el efluente industrial -, determinar las condiciones óptimas de remoción y evaluar su eficiencia.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Aislamiento de bacterias de los lodos de lagunas sedimentadoras y aclimatación

Las bacterias utilizadas en los ensayos de adaptación se tomaron de los lodos del fondo de las piletas sedimentadoras y se conservaron en frascos estériles en heladera. De acuerdo a resultados obtenidos en estudios previos [8], se concluyó que dicha fuente proporciona bacterias que presentan un mayor crecimiento en medios conteniendo furfural y ácido acético que las provenientes de otras fuentes del tratamiento por PSA. Se tuvo en cuenta además, que el reactor dentro del cual los microorganismos desarrollarán el biofilm operará anaeróbicamente, haciéndolas aún más adecuadas.

El inóculo de bacterias se preparó suspendiendo una cantidad aproximada de 4 g de lodos en agua de peptona al 1% p/v. Como nutrientes se utilizaron soluciones de cloruro de amonio y fosfato diácido de sodio, ambos de grado analítico. Se agregaron las cantidades necesarias para que el medio tuviera una concentración final de 0,33 g/L de N y 0,066 g/L de P, valor que surge de la relación 5:1 que debe existir entre N y P respectivamente [9]. Se incubó el medio en condiciones

de oxígeno reducido. Para crear esas condiciones, se recurrió a un desecador cerrado con una vela encendida en su interior; y, a fin de asegurar que el oxígeno remanente se consumiese, se cubrió el fondo con lana de acero humedecida con agua [10]. Se colocó el desecador dentro de una estufa a 37°C para proporcionar las condiciones óptimas para el desarrollo. Una vez observada la aparición de turbidez blanquecina - propia del crecimiento bacteriano - se dio por concluida la incubación y se procedió con la siguiente etapa.

La aclimatación de bacterias se inició con la preparación de un medio de cultivo líquido constituido por Minimal Media M9 [11], como fuente de nutrientes, glucosa al 20% p/v como fuente adicional de carbono, el inóculo bacteriano y el furfural en concentraciones crecientes [4]. Los medios se mantuvieron, al igual que en la etapa de incubación, en condiciones de oxígeno reducido y a una temperatura de 37°C en estufa. Cada ensayo se realizó por duplicado. Se comenzó con una concentración de 300 ppm de furfural y distintas concentraciones de M9 y glucosa. En cada ensayo, cuando se verificaba crecimiento, se procedía a repicar exponiendo los microorganismos a concentraciones cada vez mayores de furfural hasta alcanzar un máximo de 500 ppm.

## **2.2 Diseño, construcción y puesta en marcha del RALF**

No se operó el equipo con el efluente industrial, para eliminar variables que no presentaban relevancia dentro del estudio y que pudieran afectar el funcionamiento del sistema.

Las pruebas se llevaron a cabo dentro del reactor con un efluente sintético, conformado por M9, glucosa, inóculo de bacterias aclimatadas y una concentración inicial de 500 ppm furfural.

Dado el número de variables que intervienen, la caracterización rigurosa de los parámetros de diseño de un RALF resultó muy dificultosa, motivo por el cual se siguieron los pasos propuestos por Iza [12].

Para la elección de arena como material de soporte, se consideró el tamaño de las partículas a utilizar así como la uniformidad y forma de las mismas; aspectos esenciales que brindan a las bacterias superficies específicas importantes para el desarrollo del biofilm [13]; procurando una fluidización homogénea del lecho en toda la altura del equipo. Además, fueron factores determinantes, que el costo fuera razonable y que químicamente resultara inerte. De acuerdo a las recomendaciones realizadas por Hidalgo y García Encina [14], este material es apto, permite un rápido arranque del equipo y el desarrollo de una biopelícula de gran estabilidad. Además, ofrece una elevada resistencia al ataque físico, químico y biológico.

Sin embargo, resulta importante mencionar que densidades de material de soporte muy altas, como en el caso de la arena, están directamente relacionadas con un elevado consumo energético para alcanzar la velocidad de fluidización. Es por este motivo, que en trabajos posteriores, se buscará ensayar con carbón activado como medio de soporte inerte.

Se realizaron los cálculos de diseño del RALF utilizando la *Ecuación de Ergun*. Se propusieron como datos las características del material de soporte a utilizar (arena) y las del fluido (efluente a tratar) en las condiciones de operación.

Esfericidad del sólido ( $\varphi$ ): 0,86, [15]

Diámetro medio de partícula ( $D_p$ ): 0,00053 m

Densidad del sólido ( $\rho_s$ ): 1500 kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad del fluido ( $\mu$ ): 0,001002 Pa.s

Densidad del fluido ( $\rho_f$ ): 995 kg/m<sup>3</sup>

Constante gravitacional ( $g$ ): 9,81 m/s<sup>2</sup>

Cuando un fluido atraviesa, de abajo hacia arriba, un lecho de partículas sólidas cuyo tamaño varía entre límites estrechos, se establece un gradiente de presión necesario para vencer el frotamiento. Si se aumenta la velocidad de flujo, será necesario provocar un gradiente de presión mayor. Cuando la caída de presión se acerca al valor del peso del lecho por unidad de superficie de sección transversal al flujo, las partículas sólidas comienzan a moverse. Este movimiento constituye el inicio del proceso de fluidización y la velocidad a la que ocurre se conoce como *velocidad mínima de fluidización*. El estado de mínima fluidización se entiende como un estado de transición de lecho fijo a lecho fluidizado y se caracteriza por poseer una *porosidad mínima*, que es apenas un poco mayor a la porosidad del lecho fijo. En ausencia de datos experimentales, como fue nuestro caso, la porosidad del lecho en estado de mínima fluidización (parámetro necesario para el cálculo de la velocidad de fluidización mínima) puede estimarse por correlaciones. Wen y Yu (AIChE Journal y Chemical Engineering Progress Symposium Series) hallaron que la siguiente relación se satisface para varios tipos de partículas, permitiendo hallar la porosidad mínima ( $\varepsilon_m$ ):

$$\frac{1}{\varphi \cdot \varepsilon_m^3} \simeq 14 \Rightarrow \varepsilon_m = \mathbf{0,4363} \quad (1)$$

Conociendo el valor de porosidad mínima y reemplazándola en la Ecuación de Ergun, se determinó la velocidad mínima de fluidización ( $U_m$ ):

$$\frac{150(1-\varepsilon_m) \cdot \mu \cdot U_m}{\varphi^2 \cdot \varepsilon_m^3 \cdot D_p} + \frac{1,75 \rho_s \cdot U_m^2}{\varepsilon^3 \cdot D_p \cdot \varphi} - g(\rho_s - \rho_f) = 0 \Rightarrow U_m = \frac{\mathbf{0,00099m}}{s} = \frac{\mathbf{3,56m}}{h} \quad (2)$$

Dado que cualquier expansión de lecho puede escribirse matemáticamente como sigue:

$$(1 - \varepsilon_m) \cdot L_m = (1 - \varepsilon) \cdot L \Rightarrow \varepsilon = 1 - \frac{L_m}{L} \cdot (1 - \varepsilon_m) \quad (3)$$

Considerando que la altura inicial del lecho sin fluidizar es de 55 cm y la expansión buscada es del 100%, la altura del lecho fluidizado será de 1,1 m y la porosidad del lecho expandido, dada por la Ecuación (3), 0,7182. Con este último dato, se calculó la velocidad operativa de fluidización dentro del reactor ( $U_{op}$ ), reemplazando la porosidad obtenida en la Ecuación de Ergun:

$$U_{op} = \frac{\mathbf{0,0074m}}{s} = \frac{\mathbf{26,6m}}{h} \quad (4)$$

Con la velocidad operativa de fluidización y teniendo en cuenta que el diámetro del RALF es de 7 cm, se calculó el caudal operativo de fluido:

$$Q_{op} = \mathbf{1,71 L/min} \quad (5)$$

La unidad experimental a escala piloto se construyó empleando una columna de PVC de 147 cm de longitud por 7 cm de diámetro interno, constituyendo un reactor de 6 litros y un volumen total de sistema de 15 litros. Se adoptaron estas dimensiones porque eran óptimas para reducir el efecto de pared y de caída de presión[16], [17]. En la parte superior, el equipo se construyó con un aumento súbito de diámetro, de 70 a 110 mm, de manera de lograr una expansión brusca, disminuyendo la velocidad del flujo y evitando el arrastre de arena[18]. En el extremo inferior, se

colocó un empaquetamiento de 100 mm de grava con el fin de obtener un flujo uniforme en la columna e impedir el reflujo del lecho.

El reactor se cargó con la fracción media de mallas de entre 250 y 800 micras de arena esterilizada, hasta una altura de 55 cm. El diseño contó con una línea de recirculación para lograr la velocidad óptima de fluidización y una expansión operativa del lecho del 100%. Dicho diseño consistió en un tanque pulmón de 5 litros, un filtro de poliuretano expandido (espuma de poliuretano) y una bomba centrífuga de  $\frac{3}{4}$  HP. Esta corriente de fluido ingresó por la parte inferior del equipo impulsada por una bomba, la cual fue imprescindible para asegurar la eficiencia del sistema de distribución. Los gases producidos (biogás) y el efluente tratado, abandonaron el sistema por la parte superior, atravesando el tanque pulmón y el filtro. A la salida de la línea de reciclo superior, que conecta el cuerpo del RALF con el tanque pulmón, se instaló un grifo para la toma de muestra. El tanque pulmón cumplió dos objetivos: actuar como sedimentador de las partículas de soporte que puedan ser arrastradas por la corriente de fluido y proporcionar una alimentación uniforme a la bomba. El filtro permitió atrapar las partículas de arena más finas, que no fueron retenidas en el tanque pulmón, para no dañar el rodete de la bomba.

Una vez construido e instalado el RALF, se realizó la prueba hidráulica del sistema con y sin presencia de arena para evaluar el correcto funcionamiento del mismo. Luego, ya colocada la arena esterilizada, se cargó el efluente sintético a degradar. Se puso en marcha, operando a una velocidad estimada de 26,6 m/h y se tomó la primera muestra de efluente para realizarle el monitoreo correspondiente. El equipo funcionó de manera continua, como un sistema cerrado, por 55 horas a una temperatura promedio de 37°C. El efluente se consideró *tratado* cuando la degradación de la materia orgánica fue completa. Esto se verificó mediante el análisis fisicoquímico periódico de los parámetros seleccionados previamente.

### **2.3 Ensayo del RALF, determinación de condiciones óptimas de operación y evaluación de la eficiencia**

Para evaluar la performance del RALF, se tomaron muestras diarias de la línea de salida. Los parámetros analizados fueron Furfural, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Fosfatos, pH, Alcalinidad y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). La temperatura fue medida diariamente con el fin de controlar que se mantuvieran las condiciones óptimas para el crecimiento bacteriano. Para cada una de las determinaciones efectuadas, se filtró previamente la muestra a través de un filtro de 0,45 micrones.

La concentración de furfural fue analizada por Cromatografía Líquida de Alto Desempeño (HPLC) mediante un equipo Shimadzu CBM 20A, que cuenta con un detector UV SPD 20A, utilizando una columna de fase inversa C18, a 40°C de temperatura, con una velocidad de flujo de 1 mL/min, un volumen de inyección de 20µL y una mezcla de acetonitrilo – agua (17,5:82,5) como fase móvil. El pH se determinó con un pH-metro Hanna. Y los parámetros DQO, NTK, Fosfatos, Alcalinidad y SSV fueron determinados de acuerdo al Standard Methods (APHA 2005).

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Aislamiento de bacterias de los lodos de lagunas sedimentadoras y aclimatación

En la Figura 4, se expone el progreso de la preparación del inóculo de bacterias, desde el día 0 hasta el día 5, donde el enturbiamiento blanquecino indica la conclusión del mismo.



Figura 4. Preparación del inóculo bacteriano.  
Fuente: elaboración propia.

Las experiencias llevadas a cabo a escala laboratorio demostraron que es posible el desarrollo de las bacterias provenientes de los lodos en medios de cultivo líquidos, con concentración de hasta 500 ppm de furfural.

#### 3.2 Diseño, construcción y puesta en marcha del RALF

De acuerdo a lo detallado en la sección 2.3, se muestra en la Figura 5, el reactor anaerobio de lecho fluidizado diseñado (a izquierda) y construido (a derecha), a escala piloto, para tratar el efluente sintético.

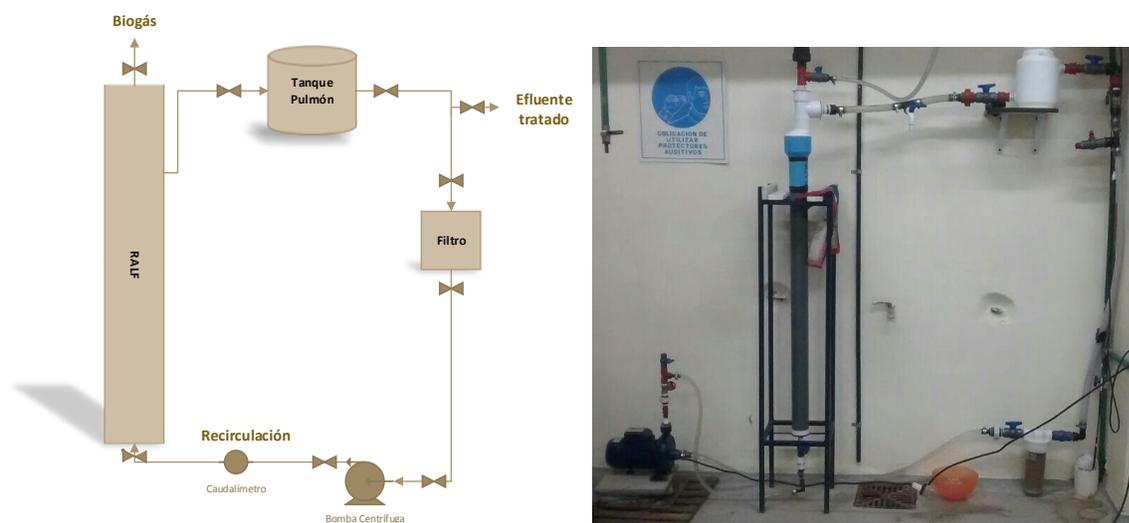


Figura 5. Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado a escala piloto.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3 Ensayo del RALF, determinación de condiciones óptimas de operación y evaluación de la eficiencia

El RALF operó a una velocidad estimada de 26,6 m/h de manera continua, como un sistema cerrado, por 55 horas a una temperatura promedio de 37°C.

Con el objetivo de determinar el tiempo de retención requerido para una remoción efectiva de furfural y de analizar el desempeño del RALF, se graficaron el porcentaje de remoción de furfural y de DQO en función del tiempo de retención hidráulico, así como también, la concentración de Furfural en función del mismo.

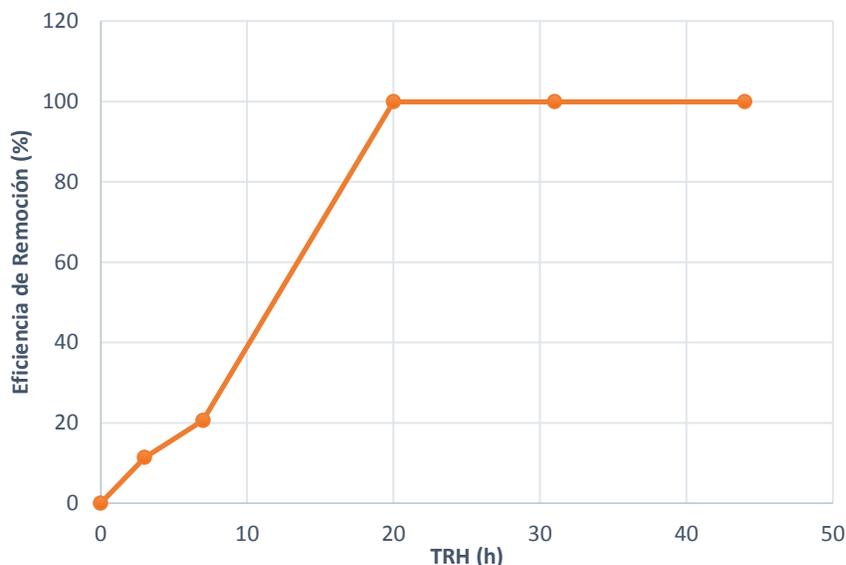


Figura 6. Perfil de eficiencia de remoción de Furfural.

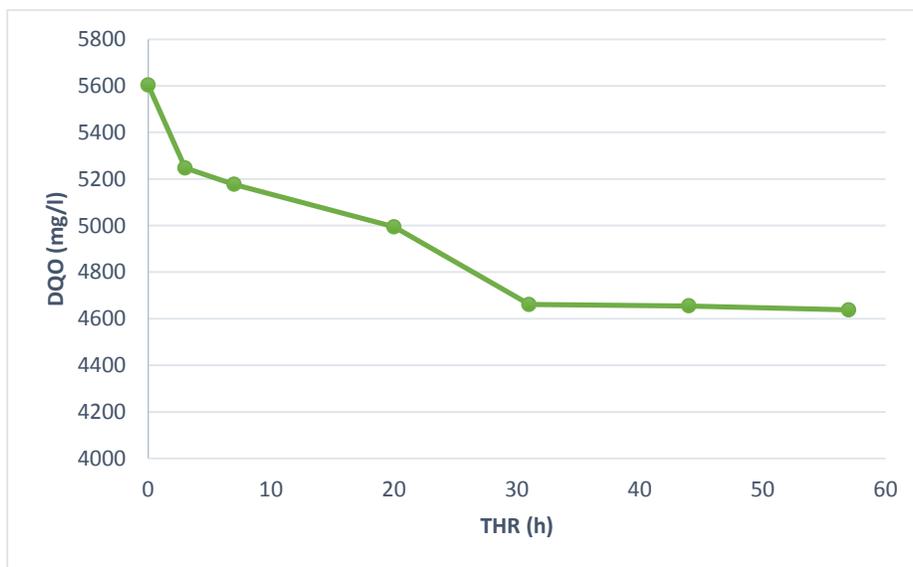


Figura 7. Perfil de remoción de DQO.

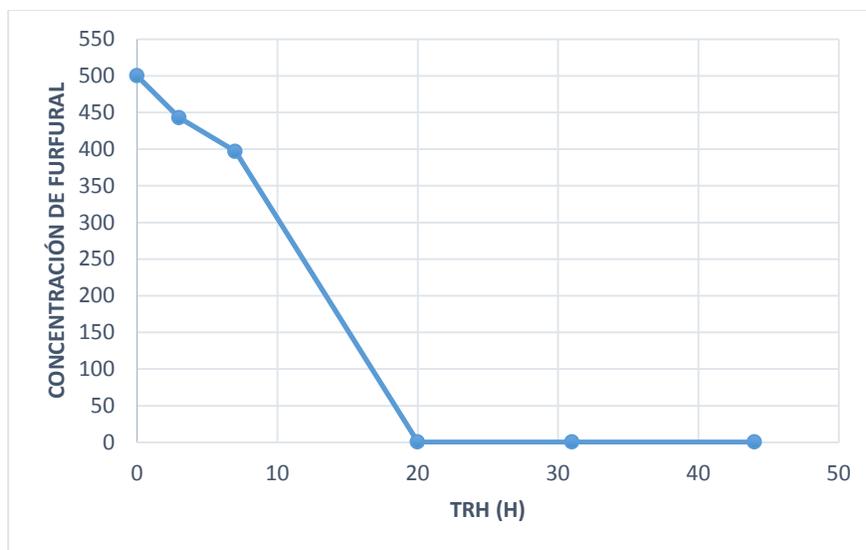


Figura 8. Concentración de Furfural en función del tiempo de retención hidráulico.

De acuerdo a lo que se observa en la Figura 6, se infirió que una vez alcanzado un tiempo de retención hidráulico de 20 horas, se logró el porcentaje de remoción más elevado del ensayo (99,88%). Por lo tanto, se podría concluir el ensayo transcurridas las 20 horas a sabiendas que la degradación del furfural es casi completa y, una permanencia mayor del efluente dentro del reactor, sólo constituirá un costo innecesario. Se procurará en futuros ensayos, determinar el comportamiento del efluente industrial real y compararlo con el comportamiento del efluente sintético.

De la Figura 7, se pudo apreciar una disminución de DQO a lo largo del ensayo con un porcentaje de remoción total de 17%. Puede pensarse que de mantenerse el ensayo por un período de tiempo mayor, se lograrían mejores resultados en cuanto a este parámetro. Sin embargo, el objetivo principal fue degradar el furfural, hecho que se verificó.

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

Se concluye que es posible aclimatar consorcios microbianos a medios agresivos y, a partir de estos microorganismos eficientemente adaptados a las condiciones en las que van a cumplir su función, mejorar los sistemas de tratamiento de efluentes actuales.

A partir del ensayo realizado, donde se logró una remoción de 99,8% del furfural en 20 horas de operación, se comprobó la eficiencia del equipo diseñado y construido. Se verificó el desarrollo de biomasa, encargada de la degradación, sobre el soporte inerte dentro del reactor con el incremento del parámetro SSV.

#### **5. Referencias**

- [1] SINGH, N., KHAN A. (1995). Acetaldehyde: genotoxicity and cytotoxicity in human lymphocytes. *Mutat. Res.*, v. 337, p. 9-17.
- [2] ZALDIVAR, J., INGRAM, L., MARTINEZ, A. (1999). Effect of selected aldehydes on the growth and fermentation of ethanologenic *Escherichia coli*. *Biotechnol Bioeng.*, v. 65, p. 24-33.

- [3] 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. *New England Systems S.A.* Disponible en <http://indunor.blogspot.com.ar>.
- [4] PISHGAR, R., NAJAFPOUR, G. D., NAVAYI NEYA, B., 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*, v. 22 (1), p. 40-49.
- [5] HIDALGO, M. D., GARCÍA ENCINA, P. A. (2002). Reactores biológicos de lecho fluidizado. *Grupo de Tecnología Ambiental, Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid*.
- [6] PÉREZ, M., ROMERO, L. I., SALES, D. (1998). Comparative performance of high rate anaerobic thermophilic technologies treating industrial wastewater. *Wat. Res.*, v. 32 (3), p. 559-564.
- [7] FARHAN, M. H., CHINHONG, P. H., KEENAN, J. D., SHIEH, W. K. (1997). Performance of anaerobic reactors during pseudo-steady-state operation. *Journal. Chem. Tech. Biotech.*, v. 69 (1), p. 45-57.
- [8] FARIÁS, A., UTGÉS, E. E., TENEV, M. D., HERVOT, E., UTGÉS, E. M., BACCARO, J., MLOT, Z. (2015). Ensayo de crecimiento bacteriano en un efluente industrial recalcitrante. *V Congreso Bianual Proimca y III Congreso Bianual Prodeca*. La Rioja, Argentina.
- [9] CARRILLO, LEONOR (2002). *Microbiología Agrícola. Universidad Nacional de Salta*.
- [10] MITSUOKA, T., MORISHITA, Y., TERADA, A., YAMAMOTO, S. (1969). A Simple Method ("Plate-in-Bottle Method") for the Cultivation of Fastidious Anaerobes. *Institute of Physical and Chemical Research, Saitama*, v. 13, 4, p. 383-385.
- [11] BALOWS, A., TRUPER, H. G., DWORKIN, M., HARDER, W., HEINZ SCHLEIFER, K. (1992). *The Prokaryotes: a Handbook of the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications*, v. IV, 199, p. 3648.
- [12] IZA, J., COLLERAN, E., PARIS, J. M., WU, M. (1991). International workshop on anaerobic treatment technology for municipal and industrial wastewaters: summary paper. *Water Science & Technology*, v. 24 (8), p. 1-16.
- [13] ARNÁIZ, C., MEDIALDEA, M., LEBRATO, J., GUTIÉRREZ, J. C. (2002). Eliminación biológica de contaminantes: Reactores de tercera generación. *Ingeniería Química*, v. 391, p. 115-120.
- [14] HIDALGO, M. D., GARCÍA ENCINA, P. A. (2002). Reactores biológicos de lecho fluidizado. *Grupo de Tecnología Ambiental, Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid*.
- [15] LEVENSPIEL, OCTAVE (1987). *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. México: Ediciones Repla S. A.
- [16] TSUNEDA S., AURESENIA J., INOUE Y., HASHIMOTO Y., HIRATA, A. (2002). Kinetic model for dynamic response of three-phase fluidized bed biofilm reactor, for wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, v. 10, p. 31-37.

[17] OCHIENG A., OGADA T., SISENDA W., WAMBUA, P. (2002). Brewery wastewater treatment in a fluidized bed bioreactor. *Journal of Hazardous Materials*, v. 90, p. 311-321.

[18] QUINTERO RENDÓN, L. (2011). Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color índigo de agua residual industrial textil por un consorcio microbiano en lecho fluidizado. *Gestión y Ambiente*, v. 14, p. 105-113.