



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA

NOMBRE DEL TRABAJO

TIRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN REACTOR INTEGRAL EN COLUMNA

Este trabajo fue presentado en el quinto simposio: "Perspectivas en Biotecnología" en la Universidad Autónoma Iztapalapa el 18 de abril del 2015 (ver anexo D).

ALUMNO: MIGUEL ANGEL RELIAS RUIZALES

DIRECTOR: OSCAR MONDY HERRÁIZ

# **CONTENIDO**

## **INTRODUCCION**

## **JUSTIFICACION**

- Problemas de mezclado

## **OBJETIVOS**

- Objetivo general
- Objetivos particulares

## **REVISION BIBLIOGRAFICA**

- Ciclo del nitrógeno
- Nitrificación-desnitrificación

## **HIPOTESIS**

## **MATERIALES Y METODOS**

- Reactor integral en columna
- Colocación de deflectores en reactores MAB y DNB
- Condiciones de operación
- Monitoreo al reactor integral en columna

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **CONCLUSIONES**

## **ANEXO**

- Anexo A Determinación de pH
- Anexo B Determinación de DQO (demanda química de oxígeno)
- Anexo C Determinación de amonio
- Anexo D Cartel de quinto simposio: “Perspectivas en Biotecnología”

# INTRODUCCION

## Justificación

Problemas de mezclado en el reactor integral en columna

Se estudiará la operación de la configuración de tres reactores en serie colocados en columna (fig. 1) que consiste en un reactor UASB (Reactor de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente), cuyo efluente es influente de un reactor de biopelícula aireada MAB (Membrane aireated biofilm) y cuyo efluente es el influente de un reactor desnitrificante DNB (Denitrifying biofilm). El propósito de esta configuración es minimizar la superficie que puede ocupar una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales).

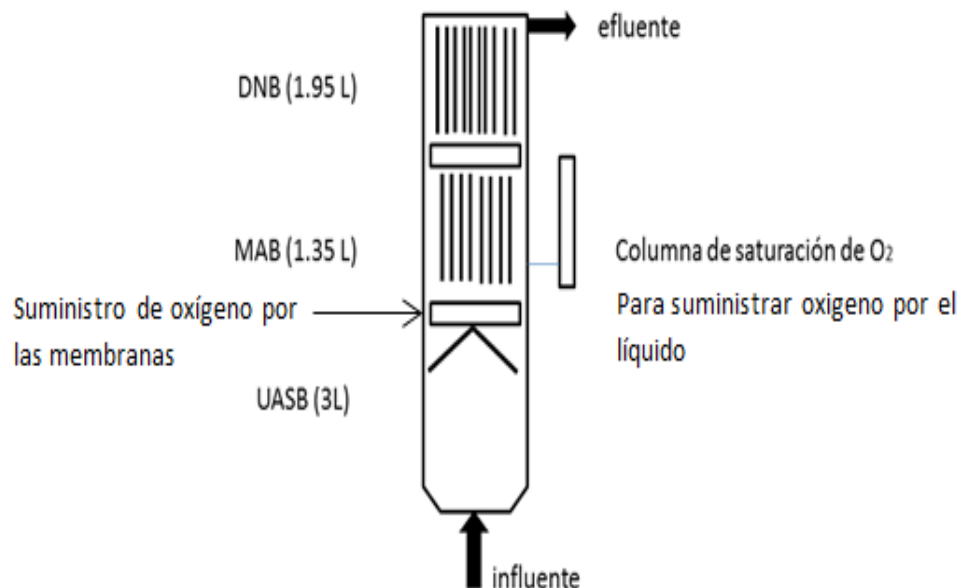


Figura 1. Reactor integral de columna.

De acuerdo a Plascencia R. *et al.* (2015) la configuración de este reactor integral en columna presenta tres condiciones de operación deficientes que el modelamiento matemático prevé que se deben corregir para optimizar el funcionamiento del reactor:

Primero: La oxigenación en el reactor MAB es heterogénea, presentado zonas con oxigenación insuficiente que no permite una oxidación completa ni de la materia orgánica, ni del amonio tal como el modelo matemático prevé.

Segundo: Se da una baja desnitrificación en el reactor DNB (31%). Esto en términos generales es un indicador de un mal funcionamiento fuera de los rangos que el modelo predice ya que para la realización del proceso anammox, la relación amonio/nitrito tiene que ser 1 (López H., 2008) mientras que se ha obtenido una relación amonio nitrito de 4.

Tercero: las velocidades del flujo en las diferentes zonas en el reactor MAB son muy variables, propiciando una diferente actividad bioquímica en las diferentes zonas, principalmente se observan canalizaciones (zonas de mayor velocidad) en las zonas 5 y 3 (ver figura 2) y zonas de baja velocidad en las periferias de las membranas (zona 4), por ello es necesario corregir el problema de mezclado en la zona 5.

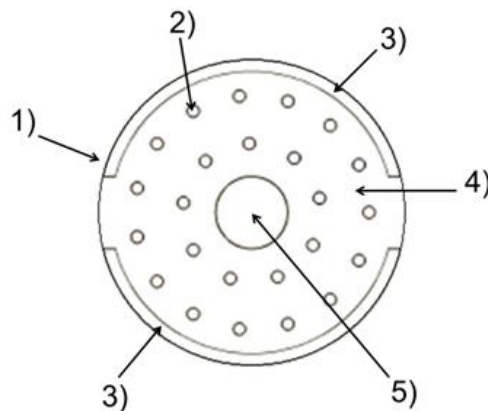


Figura 2. Vista transversal del reactor MAB y DNB: 1): paredes externas del reactor, 2): membranas, 3): zonas de flujo del líquido, 4) seno del líquido, 5): centro del reactor (mayor zona de canalización del líquido).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Lograr la nitrificación parcial en el reactor MAB junto con la oxidación de la materia orgánica y la oxidación anaerobia del amonio (anammox) en el reactor DNB mejorando el mezclado mediante la colocación de un deflector.

### **Objetivos particulares.**

- Estudiar los niveles de eficiencia de remoción de materia orgánica en cada reactor (UASB y MAB).
- Estudiar en el reactor MAB el efecto del nivel de aireación en la oxidación de la materia orgánica y nitrificación parcial.
- Estudiar las concentraciones de amonio, nitrato y nitrito en cada reactor para conocer su destino en función de las reacciones esperadas (oxidación de  $\text{NH}_4$  y formación de  $\text{NO}_2$  en el MAB, consumo de estos en el DNB).

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales se consideran sustentables ya que el costo energético se compensa con la energía que producen.

Para la eliminación de nitrógeno basándose en desnitrificación, un reactor aireado puede resultar útil, aunque actualmente se estudian procesos acoplados que suelen resultar más eficientes con respecto a la remoción de diferentes contaminantes (materia orgánica, nitrógeno, fósforo) así como procesos innovativos como lo es el proceso anammox que disminuye considerablemente la cantidad de nitrógeno con un relativo bajo consumo de oxígeno en etapas

aireadas (Strouss M. *et al.* 1998). La calidad de agua que tenga cada efluente en un reactor biológico, dependerá de

diferentes variables como lo son: Las características del influente, el bioproceso que predomine, diseño y operación del reactor (TRH, T, pH), estas características están definidas además por el tipo de microorganismos que intervienen en los procesos.

Con un proceso innovativo como lo es el anammox (Anaerobic ammonium oxidation) acoplado a procesos como digestión anaerobia y nitrificación parcial, la biotecnología propone un reactor integrado, es decir una configuración de tres reactores diferentes en una sola unidad, los tres reactores en columna (Plascencia R. *et al.* 2015) como alternativa para el tratamiento de aguas residuales convencional, ya que estas operan en una disposición horizontal.

El área de operación en una planta puede ser determinante tratándose de industrias en zonas urbanas o industrias que no cuentan con espacio suficiente para albergar una PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) dado de que la normatividad día con día es más exigente, las empresas se interesan cada vez más en tratar sus residuos, situaciones por las cuales en diseños iniciales de planta no se estaba previsto un espacio para la colocación de una PTAR.

Un reactor integral además de disminuir el área a utilizar, disminuye el tiempo de retención hidráulica dando así una ventaja superior a los tratamientos comunes, como en toda empresa, no solo el espacio y disposición de los equipos en ella es importante si no que los tiempos, rendimiento, así como eficacia son de suma importancia, por tal motivo en los análisis de tiempos y movimientos industriales, el reactor integral en columna resulta ser superior a unidades independientes.

## Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno es uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes ya que el nitrógeno al ser considerado macro elemento en la composición de todo ser vivo es indispensable (figura 3).

En este ciclo, el nitrógeno sufre una serie de transformaciones al ser utilizado por los organismos, antes de ser incorporado de nuevo al suelo o a la atmosfera, transformaciones que podemos dirigir o controlar a nuestra conveniencia. En este trabajo se enfoca principalmente en desechar nitrógeno en su forma molecular, es decir, en forma gaseosa la cual se difundirá en la atmosfera formando parte de ella y no en una forma que sea agresiva con la biosfera (Amonio, nitrito, nitrato, óxido nítrico).

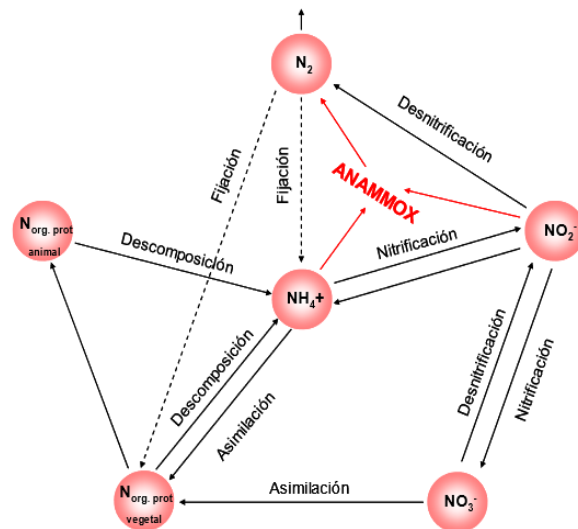


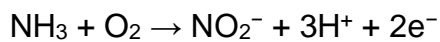
Figura 3.- Esquema del ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno en su forma molecular, no solamente es un producto de desecho en el metabolismo de los microorganismos, por ser parte de un ciclo, este es capaz de reutilizarse por medio de un proceso de fijación por organismos autótrofos transformándolo en formas orgánicas como proteínas, enzimas, ácido ribonucleico, ADP y ATP que le permitirán asimilarlo y utilizarlo en distintas rutas metabólicas.

## Nitrificación – desnitrificación

En una PTAR el amonio se trata en dos procesos: nitrificación y desnitrificación.

La nitrificación es la transformación biológica de nitrato a partir de componentes reducidos de nitrógeno ( $\text{NH}_4$ ) utilizando  $\text{O}_2$  como aceptor final de electrones y al  $\text{CO}_2$  como fuente de carbono, esto es llevado por bacterias como *Nitrosomonas* o *nitrosospiras*, oxidando el amonio a nitrito (López H., 2008), estos organismos son quimioautótrofos por lo cual no es necesaria la adición de fuente de carbono (materia orgánica), además de que necesitan grandes cantidades de amoniaco para sobrevivir, crecen favorablemente en pH de  $7 \pm 0.5$  a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . preferentemente evitan la luz formando de esa manera aglomerados adheridos a algún tipo de superficie solida (formando biofilm).



Posteriormente bacterias nitrito-oxidantes como *Nitrobacter*, oxidan el nitrito a nitrato, estas no requieren de una fuente orgánica de carbono (figura 4) ya que utilizan sales minerales inorgánicas como fuentes de energía (nitrito, nitrato, amoniaco) y como fuente de carbono  $\text{CO}_2$ , crecen en ambientes con pH alrededor de 7.5 y su temperatura óptima de crecimiento es de  $28^\circ\text{C}$ .

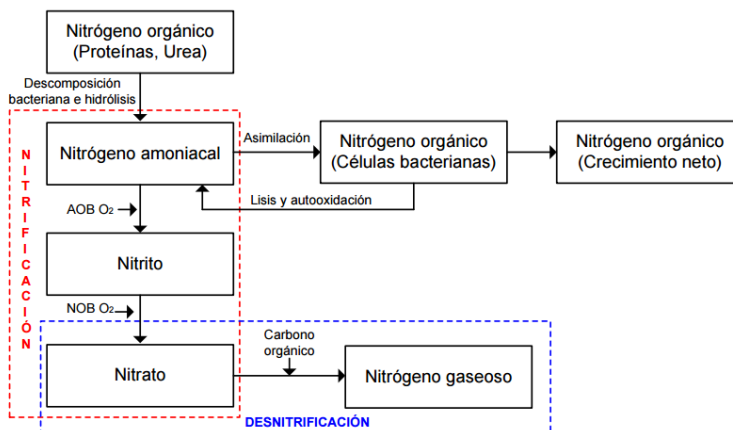


Figura 4.- Transformaciones del nitrógeno mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación vía nitrato (Metcalf y Eddy, 1995).

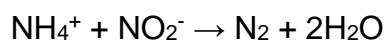


La eliminación del  $\text{NO}_3^-$  se da por las vías de desnitrificación o por nitrificación parcial seguida de la oxidación anaerobia del amonio (anammox);

La desnitrificación la realizan principalmente microorganismos como *Alcaligenes*, *Paracoccus* y *Pseudomonas* en condiciones anóxicas a pH alrededor de 7.8 y una Temperatura de  $28^\circ\text{C}$ , las *pseudomonas* son bacterias aerobias y principalmente oxidadas, pueden coexistir con *paracoccus* las cuales son oxidantes de nitrógeno en un ambiente de exopolisacaridos lo que les permite adherirse a superficies:



El proceso anammox descubierto hace relativamente poco tiempo, es una oxidación anaeróbica realizada por bacterias autótrofas *anammox* (principalmente géneros como *Candidatus Brocadia* y *Candidatus Kueneniaque*) que utilizan al nitrito como aceptor de electrones y amonio como donador de electrones produciéndose nitrógeno molecular y agua (Van de Graaf *et al.* 1996) proceso alternativo a la desnitrificación. Es imprescindible la presencia de nitrito en el medio por la alta afinidad que tiene para ello mientras que el nitrato no puede ser utilizado para este fin (Claros J. 2012).



El proceso anammox se realiza óptimamente a temperatura de  $35^\circ\text{C}$  y el rango óptimo de pH se encuentra entre 6.7-8.3. Es imprescindible la presencia de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ , además de evitar la presencia de oxígeno ya que este inhibe la reacción (aunque de manera reversible). Otros agentes como formas no ionizadas de amonio (amoniaco y ácido nitroso) inhiben la actividad anammox, asimismo, la presencia y concentración de determinados antibióticos, sulfuros y materia orgánica pueden ocasionar la pérdida de la actividad bacteriana.

Para realizar la desnitrificación por el proceso anammox, es necesario un proceso de nitrificación parcial previo ya que, al necesitarse al  $\text{NH}_4^+$  vemos que no es

necesario oxidarlo completamente en un proceso de nitrificación completa economizando así el gasto de oxígeno necesario hasta en un 50%.

Las bacterias involucradas en nitratación y nitrificación parcial crecen en condiciones muy parecidas (pH de 7.8, temperatura óptima de 28°C, presencia de oxígeno y ausencia de carbono orgánico), por lo tanto, se puede desarrollar la nitratación, así como la nitrificación en una sola unidad.

Otra ventaja de incorporar sistemas anammox posterior a una nitrificación parcial, es que no es necesaria la presencia de materia orgánica debido a que bacterias quimiolitautotrofas intervienen en el proceso, las cuales obtienen el carbono necesario a partir de carbono inorgánico, para evitar o minimizar la concentración de materia orgánica un reactor UASB antes de un reactor aireado o nitrificante puede solucionarlo, tal como se expone la configuración que presenta el reactor estudiado en el presente trabajo (figura 1).

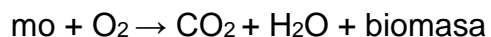
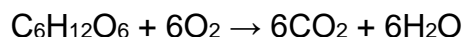
De acuerdo a la estequiometría de la reacción, es posible determinar el oxígeno necesario para la oxidación de amonio.



$$Y_{\text{N/O}} = 2.6 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4 \quad \text{para nitrificación completa}$$

$$Y_{\text{N/O}} = 1.3 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4 \quad \text{para nitrificación parcial}$$

De la misma manera se determina el oxígeno necesario para la oxidación de materia orgánica.



$$Y_{\text{mo/O}} = 1 \text{ gO}_2/\text{gmo}$$

## HIPÓTESIS

Los reactores MAB y DNB pueden proporcionar las condiciones (OD, TRH) para la eliminación de materia orgánica, oxidación parcial de amonio, desnitrificación y anammox.

## **MATERIALES Y METODOS**

El reactor integral en columna consiste en una serie de tres reactores posicionados verticalmente con un flujo ascendente hecho con plexiglass de 3 mm y con un diámetro interior de 0.082 m. El primero de ellos es un reactor tipo UASB a escala de laboratorio (3 L) en donde su principal objetivo es disminuir la materia orgánica del agua residual, su efluente sirve de influente para el siguiente reactor de biopelícula aireada (MAB) con un volumen de 1.35 L el cual tiene 25 membranas semipermeables aireadas de PVDF (poli fluoruro de vinilideno) material inerte químicamente, que permite una excelente oxigenación al reactor mientras se mantenga una presión de 2 psi, en donde se lleva a cabo la oxidación casi completa de DQO así como nitrificación parcial de amonio.

El reactor MAB cuenta con una columna de saturación de oxígeno externa (0.1 L), la cual se trabajó con flujos de 6 y 18 L/h teniendo así un flujo másico de oxígeno ( $\dot{m}$ ) de 0.18 y 0.54 gO<sub>2</sub>/h respectivamente, disolviendo oxígeno a contracorriente con el fin de saturar el líquido y oxigenar tanto por las membranas como por recirculación saturada de oxígeno en el seno del líquido del reactor.

El oxígeno disuelto (OD) que se administra por la columna se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$F = \dot{m} / C_s$$

Donde F es el flujo de la columna de recirculación (L/h),  $\dot{m}$  el flujo másico de oxígeno (gO<sub>2</sub>/h) y C<sub>s</sub> la concentración de oxígeno en la concentración de saturación de oxígeno (0.030 gO<sub>2</sub>/L).

El efluente del reactor MAB entra a un reactor de desnitrificación en película (DNB) con un volumen total de 1.95 L (considerando un volumen de operación de 1.35 L

más espacio de cabeza de 0.3 L) con una estructura geoméricamente igual al MAB (para así tener el mismo patrón de flujo en ambos reactores) pero sin oxigenación en el cual ocurre de manera simultánea la desnitrificación y la oxidación anaerobia de amonio ANAMMOX.

El reactor integral opera con un tiempo de residencia hidráulico de 0.3 días a una temperatura controlada de  $30 \pm 2$  °C sin control de pH, con alimentación de agua residual de la Universidad Autónoma metropolitana Iztapalapa con un flujo de 0.6 L/hr.

### **Colocación de deflector en reactores MAB y DNB**

El mayor punto de canalización (problema de mezclado) se presenta en la zona central (punto 5, figura 1) de los reactores MAB y DNB, así que se procedió a colocar un dispositivo que cumple la función de deflector, esto permitirá una homogenización de las diferentes velocidades dentro del reactor y de la oxigenación, disminuyendo así la velocidad del fluido en la zona central y aumentando la homogenización del oxígeno disuelto.

Ambos reactores (MAB y DNB) fueron desarmados quitando la cantidad mínima de membranas necesarias para acceder a la zona central del reactor (figura 5), el deflector entra a presión ya que está diseñado de acuerdo a las características del reactor.



Figura 5. Deflector dispuesto en la entrada de alimentación de los reactores MAB y DNB, en una vista transversal del reactor, este se colocó en el punto “5” de la figura 2.

Figura 6. Deflector en zona de canalización.

### **Condiciones de operación**

En el reactor MAB se varió el nivel de oxigenación tanto en membranas como en la columna de recirculación de acuerdo a la tabla 1, donde se muestran en cada experimento el número de semanas correspondiente, además de la principal condición modificada en el reactor.

En el experimento I, se oxigenó solo por la columna de recirculación, en el II se oxigenó tanto por la columna de recirculación como por las membranas de PVDF, disminuyendo el flujo en la columna de 2.31 a 2 L/min. En el III, se aumentó el flujo en la columna hasta 4.6 L/min con el fin de aumentar la concentración de oxígeno disuelto a 1.8 mgO<sub>2</sub>/L. Por último, en el Experimento V se redujo el TRH a 1.8 hrs manteniendo el mismo flujo de oxígeno en membranas y volviendo a saturar el agua con oxígeno.

En los Experimentos II y III la oxigenación por las membranas no fue eficiente hasta el IV en el cual se pudo disminuir el flujo hasta solo 53 gO<sub>2</sub>/día, ayudándose de la manipulación precisa de las válvulas encargadas del paso de oxígeno, en la columna se utilizó aire para oxigenar el agua sin necesidad de gastar O<sub>2</sub> (el gasto disminuyó de 293 a 53 gO<sub>2</sub>/día), procurando mantener el OD de 1.8 mgO<sub>2</sub>/L.

Tabla 1.- Condiciones de operación en cada periodo del reactor MAB.

Experimento	I	II	III	IV	V	REFERENCIA
Semana	6	10	15	17	20	
Operación	O <sub>2</sub> en col	O <sub>2</sub> mem	$\Delta FO_{2,col}$	Faire col	$\Delta TRH_{O_2col}$	
TRH (hrs)	2.2	2.2	2.2	2.2	1.8	2.2
$\dot{m}O_{2membrana}$ (gO <sub>2</sub> /día)		204	293	53	53	7.2
$\dot{m}O_{2columna}$ (gO <sub>2</sub> /día)	4.32	4	12	1	12	4
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	1.2	1.2	1.8	1.8	1.8	1.5

### Monitoreo al reactor integral en columna

Se determinaron 4 puntos de muestreo en el reactor, para cada punto se determinó el pH por medio de un electrodo HANNA, la DQO por un método colorimétrico (ver anexo), amonio por un electrodo selectivo de amonio Thermo-scientific, nitrato y nitrito por HPLC (cromatografía líquida de alta eficacia o high performance liquid chromatography en ingles) con una columna selectiva de NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>, así como el OD con un oxímetro WTW multi 3410.

El reactor integral en columna se operó por 10 semanas para estabilizarlo y otras 20 semanas para el proceso de experimentación.

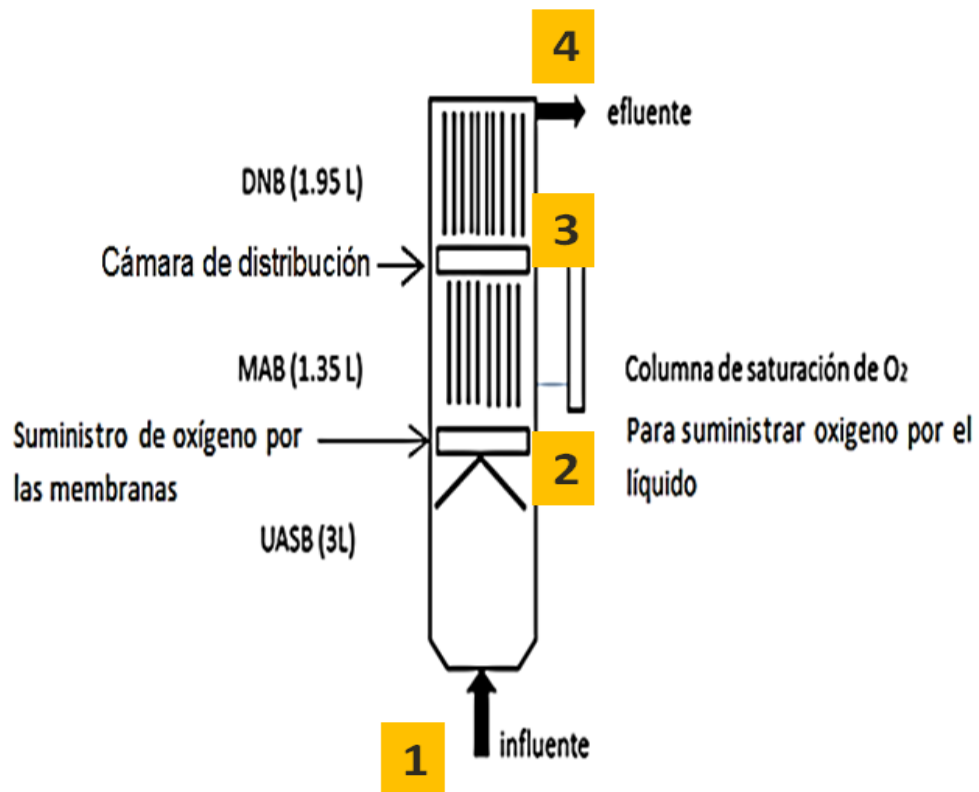


Figura 7.- Puntos de muestreo del reactor integral en columna

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reactor integral en columna trabajó con un pH que se mantuvo en  $8.2 \pm 0.2$  lo que es conveniente para el desarrollo de un proceso de nitrificación parcial

(Semmens, J.2003), acidificándose en los reactores MAB y DNB por la presencia de amonio formado en el UASB (ver tabla 2). Anteriormente a este experimento, este reactor se había trabajado con un pH de  $8.51 \pm 0.3$  (Plascencia R. *et al.* 2015).

Tabla 2.- pH en el ICR

Reactor	pH
Entrada	8.1
UASB	8.2
MAB	8.2
DNB	8.3

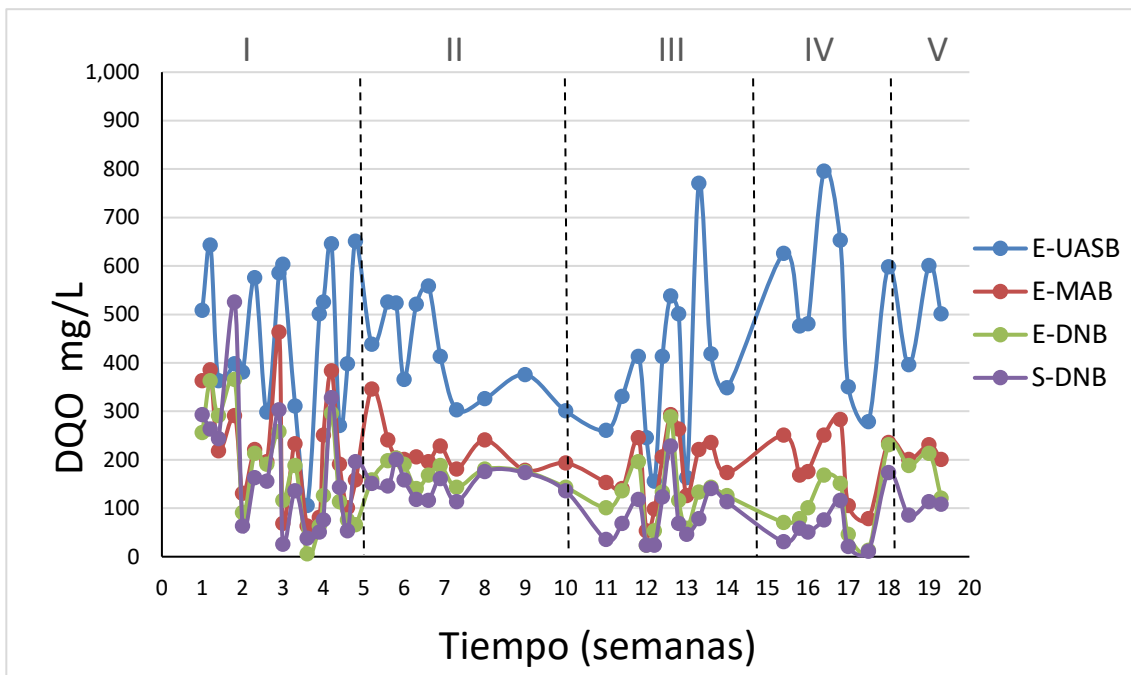


Figura 8.-DQO a la entrada y salida de cada reactor.

En cuanto a la remoción de la DQO, el reactor UASB presentó en los experimentos I y II una eficiencia inferior al 70% de debido probablemente a que los organismos aún se encontraban en un proceso de estabilización pues no



estuvo activo por un periodo de tiempo de 6 meses aproximadamente, dicha estabilización se llevó a cabo en un tiempo de 10 semanas. El reactor MAB como el DNB se comportaron de manera similar.

Después del Experimento III (ver tabla 3) cuando se aumentó el flujo en la columna de recirculación la eficiencia aumentó considerablemente (ver figura 7) alcanzando remociones globales de DQO de hasta un 98% y 89% en el MAB, superior al 85% reportado antes de colocar el deflector por Plascencia (2015) a la entrada de los reactores MAB y DNB (ver tabla 2) cumpliendo así la función esperada. La concentración de DQO global considera como la entrada del reactor el influente del UASB y la salida final del reactor al efluente del DNB disminuyendo de 500 a 100 mg DQO/L (240 mg DQO/h).

Teniendo en promedio una concentración de 200 mg DQO/L a la entrada del reactor MAB, se observa una gran remoción entre el Experimento III y IV (hasta 90 mg DQO/L), así como al final de periodo V considerando con ello que el aumento del flujo en la columna de saturación de oxígeno repercute considerablemente a la oxidación de la DQO en el MAB.

Tabla 3.- Eficiencia de remoción de  $DQO_{glob}$

Condición	Efic. Remoc. $DQO_{glob}$ (%)
$O_2$ en col	57.88
$O_2$ mem	70.71
$\Delta FO_2, col$	89.86
Faire col	81.84
$\Delta TRH$ $O_2 col$	79.77

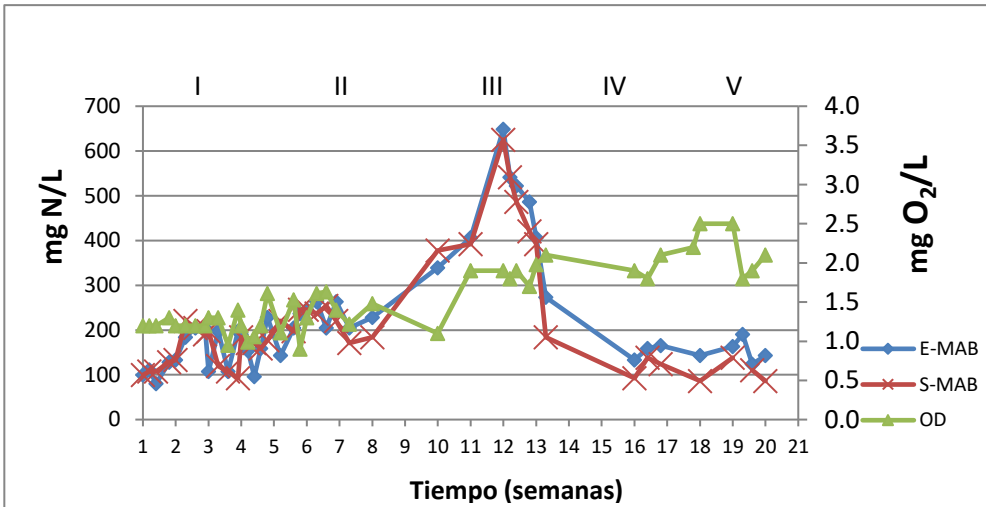


Figura 9.- Amonio a la salida y entrada del reactor MAB

La eliminación de amonio en el reactor MAB fue estable hasta el Experimento IV donde se obtuvo una remoción de amonio de hasta un 26 % (0.63 g NH<sub>4</sub>/día) por las condiciones de oxigenación dadas (1.8 mgO<sub>2</sub>/L de OD y un flujo de 18 L/h en la columna de recirculación, ver tabla 1) de acuerdo a los datos obtenidos se considera que para la remoción de NH<sub>4</sub> la concentración de OD en el seno del liquido del reactor es determinante para el proceso, esto fue promovido por el mejoramiento en el mezclado de reactor con ayuda del deflector tal como lo predecía la simulación hidrodinámica. La presencia de nitrato y nitrito fue casi nula en los primeros cuatro experimentos (de 20 – 30 mg/L) por la falta de oxidación del NH<sub>4</sub> mientras que en el Experimento V se obtuvo una concentración de 40 mg/L tanto de nitrito como de nitrato, aunque esta concentración es muy baja aun para considerarse nitrificación parcial, es un indicio de que el amonio está siendo oxidado por las bacterias nitrificantes.

En el reactor DNB la oxidación de NH<sub>4</sub> tuvo una eficiencia de 5% (0.1 gNH<sub>4</sub> /día), debido a que la oxidación parcial del amonio en el reactor MAB no es la suficiente aún.

Tabla 4.- Remoción global del reactor integral en columna

Operación	O <sub>2</sub> en col	O <sub>2</sub> mem	ΔFO <sub>2,col</sub>	Faire col	ΔTRH O <sub>2,col</sub>
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>
Rem DQO (gDQO/día)	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>	<b>5.04</b>	<b>5.76</b>	<b>5.76</b>
Rem NH <sub>4</sub> (gNH <sub>4</sub> /día)			<b>0.144</b>	<b>0.67</b>	<b>0.69</b>

En cuanto a la cantidad de oxígeno suministrada por las membranas no se observó caída en la eficiencia de oxidación al disminuir la cantidad de oxígeno de 293 a 53 gO<sub>2</sub>/día por las membranas de PVDF ya que las características que el material con el que están hechas ofrece, manteniendo una presión de 2 psi garantiza una oxigenación constante de 7.2 gO<sub>2</sub>/día cantidad necesaria para la nitrificación parcial en la biofilm sujeta a la membrana, en cambio al disminuir el oxígeno en el seno del líquido suministrado por la columna de recirculación de 0.54 a 0.18 gO<sub>2</sub>/h se observan cambios tanto en la concentración de la DQO como en la oxidación de amonio.

Con estas condiciones la biofilm creció aproximadamente de 1 mm hasta 3 mm sobre las membranas, tornando su coloración de un café oscuro (casi negro) a un marrón rojizo (figuras 10 y 11). En cuanto al reactor DNB, la coloración de la biomasa cambio a rojo teja, aunque su crecimiento no fue tanto como en el MAB se observó un crecimiento uniforme en todo el reactor (1 mm), a diferencia del MAB donde creció mayormente en el área superior del reactor (figuras 11 y 12) esto indica el aumento en la población de pseudomonas con una acción oxidante de la materia orgánica principalmente y poca oxidación del amonio, considerando en menor cantidad organismos que efectúan esta función (organismos como *Paracoccus denitrificans*). Las *pseudomonas* tienen la capacidad de comportarse como organismos heterótrofos así como autótrofos utilizando la glucosa para llevar a cabo el ciclo de la ruta de Etner-Doudoroff y el ciclo de los ácidos tricarbónicos para llevar a cabo su catabolismo lo cual posiblemente sea la causa de la alta oxidación de materia orgánica (Claros J. 2012).



Figura 10. Reactor MAB antes de colocar el deflector a la entrada



Figura 11. Reactor MAB a los 200 días de operación.



Figura 12. Reactor DNB antes de colocar el deflector a la entrada.



Figura 13. Reactor DNB a los 200 días de operación.

## CONCLUSIONES

- Hubo oxidación casi completa de la materia orgánica de salida del reactor UASB así como la oxidación parcial de amonio gracias a que se mejoró el mezclado con la colocación de un deflector a la entrada de los reactores MAB. La eficiencia de remoción de materia orgánica en el reactor UASB fue del 80 %.
- Aumentando el nivel de oxigenación de 1.2 a 1.8 mgO<sub>2</sub>/L En el MAB tuvo una eficiencia promedio de un 85%, removiendo así hasta 290 mg DQO/h. aunque en ocasiones llegó a un 98%. Ese mismo aumento de la OD tuvo un efecto en la oxidación de NH<sub>4</sub> una vez que la biofilm se ha estabilizado. La remoción de NH<sub>4</sub> en el reactor MAB se mejoró de 144 mg NH<sub>4</sub>/día (antes de la colocación del deflector) a 630 mg NH<sub>4</sub>/día (una vez colocado) siendo su eficiencia de 26 % de NH<sub>4</sub>.
- El amonio se ve oxidado (al disminuir la concentración de este en cada reactor) pero la formación de nitrato y nitrito es mínima (40 mg/L de nitrito y de nitrato) y no es lo suficiente para decir que hay un proceso de nitrificación parcial.

Respecto a la hipótesis, se demuestra lo siguiente:

- La optimización en el gasto de O<sub>2</sub> en las membranas no se ha logrado, se gastan 53 gO<sub>2</sub>/día siendo necesario solo 7.2 gO<sub>2</sub>/día para una nitrificación parcial, así que es recomendable controlarlo de igual manera en la columna de saturación de oxígeno se gastan 12 gO<sub>2</sub>/día de los cuales solo 4 gO<sub>2</sub>/día son suficientes.
- Sin embargo, no se observó la oxidación anaerobia del amonio a N<sub>2</sub>.

## Bibliografía

Brindle K., Stephenson T., Semmens M.J. (1998) Nitrification and oxygen utilization in a membrane aeration bioreactor, *Journal of Membrane Science* 144, 1:197-209.

Claros Bedoya J. (2012) Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal (Tesis doctoral) *Universitat politécnica de Valencia*.

INEGI, Cuéntame (2011),  
<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T> tomado de SEMARNAT. Estadísticas del agua en México.

López Castillo H. (2008) Desarrollo del proceso anammox para el tratamiento de lixiviados: puesta en marcha y operación. (Tesis doctoral) *Universitat de Girona* ISBN: 978-84-692-1407-7.

Metcalf and Eddy. Wastewater engineering (2003): treatment and reuse. *McGraw-Hill Higher Education*, New York. 4 Ed. ISBN-13: 978-0070418783

Monroy Hermosillo O. (1998) Modelamiento y control de un Sistema de digestión anaerobia en dos etapas. (Tesis doctoral) *Universidad Nacional Autónoma de México*, ISBN: 970-654-312-0.

Plascencia-Jatomea R., Almazán-Ruiz F.J., Rivero E.P., Monroy O., González I. (2015) Flow pattern in an innovative Membrane Aerated Biofilm reactor (MAB): tracer experiment CFD simulation, *Chemical Engineering Science* 138, 22:324-332.

Plascencia-Jatomea R., González I., Gómez J., Monroy O. (2016) Operation and dynamic modeling of an innovative integrated reactor for sewage treatment. *Chemical Engineering Science*, 138, 22: 31–40

Pynaert K., Smets B., Wyffels S., Beheydt D., Siciliano S. and Verstraete W. (2003) Characterization of an Autotrophic Nitrogen-Removing Biofilm from a Highly Loaded Lab-Scale Rotating Biological Contactor, *Applied and Environmental microbiology*. 69, 6: 3626–3635.

Rojas M., Plascencia-Jatomea R., Monroy O. (2016) Tratamiento de aguas residuales en reactor integral en columna. Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, *Quinto simposio: "Perspectivas en Biotecnología"*

Semmens J., Dahm M., Shanahn K. (2003) COD and nitrogen removal by biofilms growing on gas permeable membranes, *Wat. Res.* 37, 18: 4343-4350.

Strouss M., Gerven E., Zheng P., Kuenen J.G. and Jetten M.S.M. (1997) Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process in different reactor configurations. *Wat. Res.* 31, 8: 1955. -1962

Van de Graaf A., Bruijn P., Robertson L., Jetten M. and Kenuen G. (1996) Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. *Microbiology* 142, 8: 2187-2196.

## **ANEXOS**

### **Anexo A: Medición de pH**

El monitoreo de pH en cada una de las etapas del reactor se analiza diariamente a la valiéndose de un potenciómetro Hanna para lo cual se siguen los pasos siguientes:

- 1.- Las muestras se colocan en recipientes que permitan sumergir el electrodo por lo menos dos centímetros.
- 2.- El electrodo calibrado, se encuentra sumergido constantemente en buffer con pH de 4, así que antes de sumergirlo en la muestra se lava con agua destilada, eliminando rastros de buffer.
- 3.- Una vez sumergido, se espera a que la lectura se mantenga constante, o con variaciones inferiores a  $\pm 0.002$ .
- 4.- Se retira el electrodo, se lava con agua destilada removiendo toda impureza y se coloca de nuevo en el buffer de pH 4.

### **Anexo B: Determinación de DQO**

La demanda química de oxígeno, es un indicativo de la cantidad de materia dispuesta a ser oxidada en nuestro sistema, o para nuestros fines, la cantidad de materia orgánica a oxidar, para determinarla experimentalmente se preparan dos soluciones que se utilizaran para nuestro análisis correspondiente

- 1.- Solución digestora: Se seca a  $103^{\circ}$  C durante dos horas, 50 gramos de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) posteriormente se enfría en desecador y se pesan 42.256 g. Se pesan 33.3 g de sulfato de mercurio ( $HgSO_4$ ).

En un matraz aforado, disolver el dicromato de potasio en 500mL de agua destilada, y añadir el sulfato de mercurio. En baño de hielo añadir a la mezcla 167 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), una vez fría la mezcla aforar a 1 L

2.- Solución de ácido sulfúrico puro con sulfato de plata: Pesar lo suficiente para preparar 2.5 L de solución de acuerdo a la proporción: 5.5g de  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  por kg de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  considerando el peso específico, así como la pureza del ácido (datos determinados por el proveedor, identificados en la botella del ácido)

Se realiza la curva estándar con biftalato de potasio o glucosa en concentraciones de 0 (blanco con agua destilada) a 1700 mg/L

En tubos HACH se colocan 2 ml de muestra a analizar, 1 ml de solución digestora y 2 ml de solución de ácido sulfúrico con sulfato de plata, se homogenizan y colocan por dos horas en una parrilla para DQO a 150 °C. Una vez concluido el tiempo, se dejan enfriar y se da lectura en espectrofotómetro a 620 nm. La concentración de cada muestra está dada de acuerdo a la curva de calibración siguiente.

Tabla 2. Curva de calibración DQO

TUBO	CONCENTRACION (mg/L)	ABS 1	ABS 2	PROMEDIO
0	0	0	0	0.0000
1	170	0.082	0.08	0.0810
2	340	0.15	0.149	0.1495
3	510	0.224	0.227	0.2255
4	680	0.3	0.31	0.3050
5	850	0.373	0.371	0.3720
6	1020	0.453	0.426	0.4395
7	1190	0.502	0.51	0.5060
8	1360	0.58	0.602	0.5910
9	1530	0.689	0.708	0.6985
10	1700	0.780	0.753	0.7665



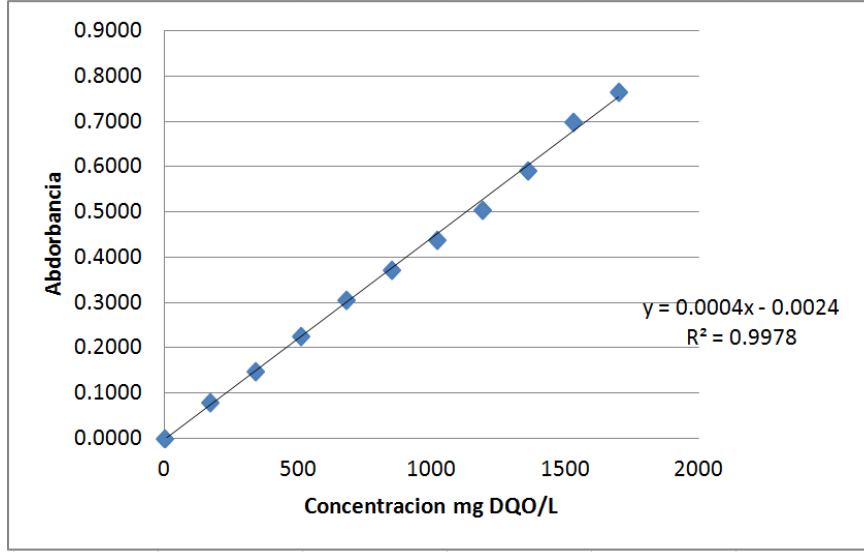


Figura 14.- Curva de calibración de DQO

### Anexo C: Determinación de amonio

Se prepara con anterioridad una solución de NaOH y H<sub>2</sub>O (40 g/ 100ml).

Se miden 50 ml de muestra y se añade 0.5 ml de solución de NaOH, a partir de aquí se cronometra por 3 minutos y se lee con el electrodo selectivo de amonio HANNA.

La concentración de amonio en cada muestra se determinará de acuerdo a la curva patrón que se elabore realizando un estándar de cloruro de amonio a una concentración de 1000 ppm y realizando las diluciones correspondientes para tener estándares de 1, 10, 100 y 1000 ppm, se procede a leer los mV con ayuda del electrodo selectivo de amonio y a realizar la curva correspondiente.

Concentración (ppm)	mV
1	83
5	51
10	35
50	-8
100	-25
500	-65
1000	-81

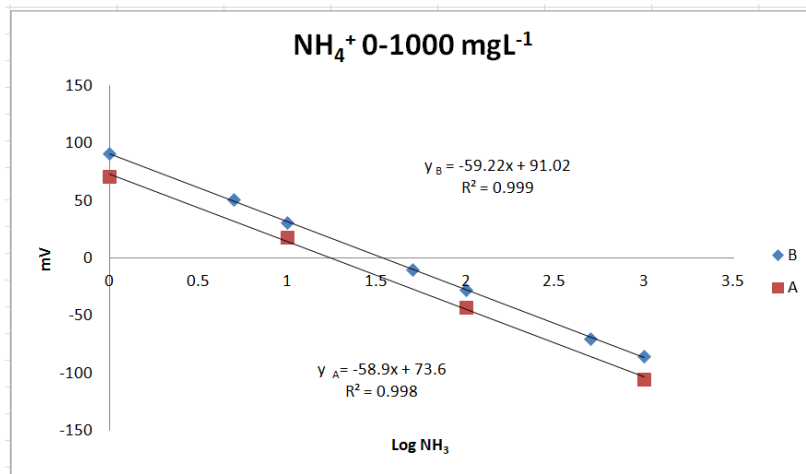


Figura 15.- curva de calibración de NH<sub>4</sub>, mostrando la ecuación de la recta.

## Anexo D: Cartel de quinto simposio: “Perspectivas en Biotecnología”



Quinto Simposio: Perspectivas en Biotecnología  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa  
Posgrado en Biotecnología



### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN REACTOR INTEGRAL DE COLUMNA

Rojas M., Plascencia-Jatomea R., Monroy O.

Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, 09340 Cd. de México

[em.miguelrojas@gmail.com](mailto:em.miguelrojas@gmail.com)

Palabras clave: Digestión anaerobia, nitrificación parcial, anammox.

**Introducción.** Los componentes más importantes a eliminar de las aguas residuales municipales, son compuestos orgánicos disueltos formados por carbono, fósforo y nitrógeno principalmente así como algunas sustancias tóxicas como hidrocarburos, plaguicidas, entre otros (1). Con objeto de reducir la superficie ocupada por una planta de tratamiento se estudia un reactor integral en columna (RIC) en donde la eliminación de compuestos carbonados se hace por digestión anaerobia en un reactor UASB seguido de la digestión aerobia en un reactor de membrana aireada (MAB) y la remoción de nitrógeno se basa principalmente en procesos de nitrificación y posterior desnitrificación o mediante la oxidación parcial de amonio (OPA) a nitrito seguida de la oxidación anaerobia del amonio (anammox) la cual utiliza al nitrito como aceptor y al amonio como donador de electrones (3) en un reactor de desnitrificación en película (DNB) (fig. 1).

En este proyecto se estudiará en el reactor MAB el efecto del nivel de aireación en la OPA y la desnitrificación en el reactor DNB. Se comprobarán experimentalmente las eficiencias de remoción de carbono y nitrógeno, promoviendo así las condiciones necesarias para la reacción anammox.

**Metodología.** Se procedió a monitorear los niveles de DQO, pH,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y OD en los reactores aerobio (MAB) y desnitrificante (DNB).

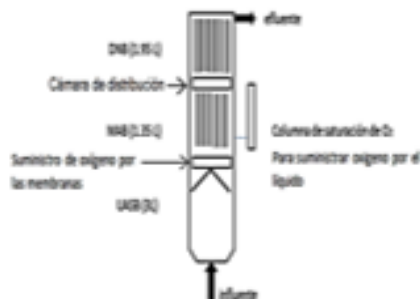


Figura 1. Reactor integral en columna

**Resultados y discusión.** Después de 115 días de operación con el deflector colocado, el pH se mantuvo en  $8.19 \pm 0.41$  y se llegó a obtener una eficiencia de remoción

de materia orgánica hasta del 95 % en el reactor UASB. A  $0.6 \text{ mgOD/L}$  no se observó consumo de  $\text{NH}_4^+$ , sin embargo cuando se incrementó la concentración de  $\text{O}_2$  disuelto (OD) a  $1.2 \text{ mg/L}$  en el MAB, se observó que la concentración de  $\text{NH}_4^+$  va disminuyendo ligeramente (Fig. 2). Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  indican una nitrificación parcial (25 y  $15 \text{ mg/L}$  respectivamente) aunque sin alcanzar aun la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_2^-$  esperada de 1.32 para un proceso anammox (2), esto probablemente debido a que el MAB se encuentra en una fase de adaptación al incremento de OD, factor determinante para el proceso de nitrificación parcial esperado.

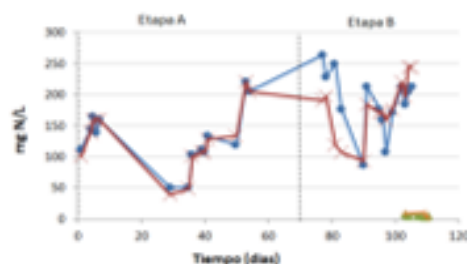


Figura 2. Concentración de especies del reactor MAB,  $\text{NH}_4^+$  (X),  $\text{NH}_4^+$  (+),  $\text{NO}_2^-$  (+),  $\text{NO}_3^-$  (+). Etapa A ( $0.6 \text{ mgOD/L}$ ), Etapa B ( $1.2 \text{ mgOD/L}$ )

**Conclusiones.** No se ha obtenido una remoción de  $\text{NH}_4^+$  ni  $\text{NO}_3^-$  en el MAB. La oxigenación es determinante para el proceso, lo cual al seguir monitoreando se espera llegar a las condiciones necesarias para el desarrollo del proceso anammox.

#### Bibliografía.

1. H. López Castillo, Desarrollo del proceso anammox para el tratamiento de lixiviados: puesta en marcha y operación. Girona, Diciembre del 2008 (Tesis doctoral) ISBN: 978-84-692-1407-7
2. Van de graaf, A., Bruijn, P., Robertson, L., Jetten, M. and Kuyper, G., Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. Microbiology, 1996
3. R. Plascencia-Jatomea, I. González, J. Gómez, O. Monroy, Operation and dynamic modeling of an innovative integrated reactor for sewage treatment. Chemical Engineering Science.



TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN REACTOR  
INTEGRAL EN COLUMNA.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 17:00 horas del día 30 del mes de agosto del año 2017 en la Unidad Ixtapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. OSCAR ARMANDO MONROY HERMOSILLO  
DR. RIGOBERTO PLASCENCIA JATOMEA

siendo el primero asesor del alumno y lector el segundo, de la Idónea Comunicación de Resultados, se reunieron a evaluar la presentación cuya denominación aparece al margen, para la obtención del diploma de:

ESPECIALIZACION EN BIOTECNOLOGIA

DE: MIGUEL ANGEL ROJAS ROSALES

y de acuerdo con el artículo 79 fracción II del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

*Aprobar*

Acto continuo, se comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



MIGUEL ANGEL ROJAS ROSALES  
ALUMNO

REVISÓ

LIC. JULIO CÉSAR DE LARA ISASSI  
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR<sup>A</sup> EDITH PONCE ALCUICIRA

ASESOR

DR. OSCAR ARMANDO MONROY  
HERMOSILLO

LECTOR

DR. RIGOBERTO PLASCENCIA JATOMEA