

Estudio en planta piloto de la microestructura y de la biomasa del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales

Máster Universitario en Gestión Sostenible y
Tecnologías del Agua



Trabajo Fin de Máster

Autora: Manuela Martos Parra

Tutor: Daniel Prats Rico

Cotutor: Arturo Trapote Jaume

(Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales)

Septiembre 2016



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Índice

Resumen.....	1
1. Introducción	2
1.2. Objetivo y alcance	5
2. Parte experimental.....	6
2.1. Descripción plantas piloto de depuración de agua	6
2.1.1. Sistema híbrido UASB-MBR.....	6
2.1.2. MBR de membrana sumergida.	6
2.2. Descripción microscopio, cámara digital y software Motic Images Plus 2.0.....	7
2.3. Toma y preparación de muestras.....	7
2.3.1. Toma de muestras.....	7
2.3.2. Preparación de muestras	7
3. Resultados y discusión	8
3.1. Parámetros operacionales de las dos plantas depuradoras	8
3.2. Características del floculo y microorganismos presentes.....	8
3.3. Condiciones operacionales medias de las plantas depuradoras.....	9
3.4. Características microestructurales del flóculo y su relación con las condiciones operacionales.	11
3.5. Relación entre los microorganismos presentes y el estado operacional (bioindicación) 12	
3.6. Fotografías tomadas con el microscopio	15
4. Conclusión	18
5. Bibliografía	19
Anexos A. Figuras	21
Anexos B. Tablas.....	23

Resumen

En este trabajo se realizó la valoración de fango activado mediante control microscópico de forma periódica. Se caracterizó cualitativamente la microestructura de los flóculos y los microorganismos en los lodos de dos plantas depuradoras de fangos activos estables, sin cambios bruscos en los parámetros de control y con una calidad buena del efluente depurado. Ambas plantas son a escala de laboratorio y alimentadas con agua residual urbana sintética. La toma de muestras y el posterior análisis se realizó en un intervalo de tiempo de once semanas, con una frecuencia aproximada de una vez por semana. Las muestras se observaron al microscopio a diferentes aumentos y paralelamente se hacían fotografías y se anotaban las características del flóculo y de los microorganismos para analizar sus posibles cambios ante las variaciones de los parámetros operacionales. La mayoría de los parámetros operacionales se han mantenido estables durante todo el estudio y las eficiencias de eliminación de demanda química de oxígeno (DQO) fueron muy buenas en ambas plantas superando el 90%. Se ha comprobado de nuevo que la observación microscópica del fango activo es una herramienta útil para el control de los procesos de depuración biológica ya que se ha podido correlacionar la eficiencia más alta con las mejores características microestructurales de los flocos y con el tipo de biomasa conveniente.

Abstract

In this work the evaluation of activated sludge was conducted by microscopic control periodically. Floc microstructure and microorganisms in sludge was characterized and analyzed qualitatively two treatment plants activated sludge stable, without sudden changes in the control parameters and good quality treated effluent. Both plants are laboratory scale and fed with synthetic urban wastewater. Sampling and the subsequent analysis was performed on a time interval eleven weeks with a frequency of about once a week. The samples were observed under a microscope at different magnifications and parallel photographs were made and the characteristics of the floc and microorganisms to discuss possible changes to variations in operational parameters were wrote down. Most operational parameters have remained stable throughout the study and Chemical Oxygen Demand (DQO) removal efficiencies were very good in both plants exceeding 90%. It has been proven again that microscopic observation of activated sludge is a useful tool for control process biological treatment because it has been possible to correlate the highest efficiency with the best microstructural characteristics of flocs and the type of convenient biomass.

Palabras clave: Depuración biológica, Fangos activos, Microestructura del fango, Flóculos, Bioindicadores, microorganismos.

Keywords: Biological treatment, Activated sludge, Sludge microstructure, Flocs, Bioindicators, microorganisms.

1. Introducción

El fango activo fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett, quienes realizaron experimentos con un cultivo biológico en suspensión en un tanque aireado e introdujeron la idea de recircular la biomasa suspendida formada durante la aireación. (Zornoza, 2013).

El proceso más habitual de tratamiento biológico de las aguas residuales es el sistema de fangos activos. Lo que se consigue es degradar la fracción soluble de materia orgánica favoreciendo el crecimiento de material insoluble formado por los propios fangos activos, hecho que facilita su posterior separación con una simple sedimentación (Poch, 1999).

Los objetivos del tratamiento biológico son reducir el contenido de materia orgánica de las aguas, disminuir su contenido en nutrientes, y eliminar los patógenos y parásitos. Estas metas se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas (Zarate, 2013).

En el proceso biológico de fangos activos intervienen bacterias, protistas, hongos, algas y organismos filamentosos. Los hongos y las algas generalmente no tienen gran importancia dentro del proceso (Zornoza, 2012). Los tres grupos de microorganismos esenciales son las bacterias, los protozoos y los metazoos. Las bacterias constituyen el 95% de los microorganismos presentes en el fango activo y sus principales funciones son: eliminar materia orgánica en el reactor, eliminar nutrientes (nitrógeno y fósforo) y competir con los microorganismos patógenos. Los protozoos y los metazoos constituyen el 5% de microorganismos del fango activo y son imprescindibles para el funcionamiento adecuado del proceso. Sus funciones son estimular el crecimiento de bacterias, ya que se alimentan de ellas, eliminar las bacterias libres del espacio interflocular, disminuyendo la turbidez del efluente y actuar como bioindicadores del funcionamiento del proceso biológico (Francés et al., 2011).

Los diversos microorganismos que habitan los reactores constituyen asociaciones naturales denominadas comunidades biológicas. Estas comunidades constituidas por un conjunto determinado de especies, presenta características definidas, como resultado de las interrelaciones entre organismos, así como el medio fisicoquímico en el que habitan (Ruiz et al., 1999).

La biomasa de los fangos activos presenta capacidad de formar flóculos y decantar cuando se detiene la agitación. Este hecho es debido a la presencia de ciertas bacterias floculantes que segrean polímeros extracelulares. La

formación de flóculos es muy importante en el proceso de fangos activos para la correcta separación entre el agua tratada y los sólidos (Poch, 1999).

Los flóculos se pueden considerar como microsistemas individuales con comportamientos físicos, químicos y biológicos interactivos entre sí y que operan dentro de la matriz del floculo. La interacción continua entre los flóculos y sus alrededores proporciona energía, los nutrientes y los productos químicos necesarios para el crecimiento biológico, reacciones químicas y desarrollo morfológico, regulando así la calidad del agua tratada (Zambrano, 2013).

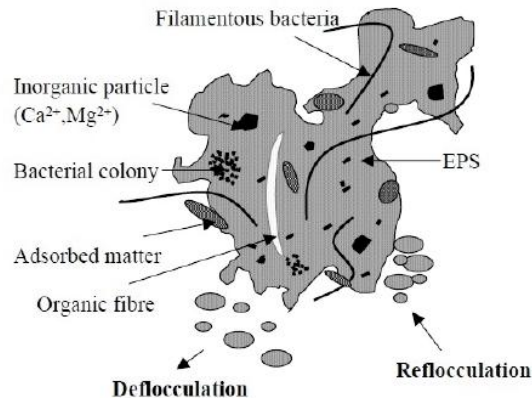


Figura 1. Composición de un flóculo de fango activo (Zambrano, 2013).

La estructura del flóculo se diferencia en microestructura y macroestructura. La primera está formada por las bacterias formadoras del flóculo y los polímeros extracelulares que estas generan y la segunda por las bacterias filamentosas, que actúan como soporte de la microestructura. La proporción entre microestructura y macroestructura debe estar en equilibrio para que el flóculo tenga una estructura y una sedimentabilidad adecuada (Francés et al., 2011). Cuando se produce un fuerte desequilibrio entre la cantidad de bacterias formadoras de flóculos y las filamentosas, la estructura del flóculo puede tender hacia una disgregación total con pequeñas y débiles agrupaciones de bacterias, que generan un sobrenadante turbio; o hacia un aumento excesivo de la medida de los flóculos, lo que provoca problemas de compactación y evita la sedimentación de estos flóculos esponjosos, con el correspondiente peligro de que se escape la biomasa del proceso cuando el manto de fangos supera las posibilidades de contención del decantador secundario (Poch, 1999).

En los fangos activos la proporción de biomasa total disminuye en los niveles tróficos superiores, estando la diversidad de especies relacionada con la estabilidad del sistema.

Se establece una sucesión temporal de especies a partir de la puesta en marcha del sistema, sucesión que parte de una preponderancia inicial de especies pioneras de crecimiento rápido, como bacterias, flagelados y ciliados poco eficientes, que posteriormente evoluciona hacia un sistema más complejo

y estructurado, dominado por especies como los ciliados depredadores y otros invertebrados. Después de una fuerte perturbación tiene lugar una regresión del nivel de organización del ecosistema, reiniciándose la sucesión (Poch, 1999).

Los parámetros operacionales más utilizados en el control de la EDAR son la edad del fango (EF) y la carga másica (CM). La edad del fango indica el tiempo de retención del fango activo en el reactor. La carga másica es la relación entre el alimento (materia orgánica) que entra diariamente a la EDAR y los microorganismos (masa de fango del reactor). La CM es opuesta a la EF. A edad del fango elevada la cantidad de microorganismos es alta, y en ese caso la carga másica será menor (Francés et al., 2011).

Otras variables que influyen en el proceso de depuración son: concentración de oxígeno, temperatura y tiempo de retención hidráulico (Francés et al., 2011).

La observación microscópica del flóculo nos va a proporcionar información relevante sobre el estado del proceso de depuración. Las características del flóculo que nos van a proporcionar esa información son (Francés et al., 2011):

- ✚ **Forma:** regular (redondeada) o irregular, ambas formas de flóculo pueden sedimentar.
- ✚ **Tamaño:** Se mide entre los extremos más alejados del flóculo. Un tamaño grande sería superior a 500 micras, mediano entre 150 y 500 micras (ambos valores incluidos) y pequeños menor de 150. Es importante y se debe controlar ya que los cambios repentinos indican cambios en el proceso de depuración.
- ✚ **Núcleos:** son la zona mineralizada del flóculo. Son característicos de flóculos maduros y aportan consistencia y peso al flóculo.
- ✚ **Estructura:** se diferencian tres; estructura compacta, abierta y disgregada. Las dos primeras no presentan problemas, sin embargo la tercera tiene exceso de macroestructura y pueden generar esponjamiento y sedimentación lenta.
- ✚ **Crecimiento disperso.** Es el crecimiento de bacterias libres en el espacio interflocular. Esta presencia excesiva generará problemas de turbidez en el efluente, ya que las bacterias libres no tienen capacidad de sedimentar.
- ✚ **Puentes interfloculares.** Son causados por bacterias filamentosas de gran longitud y robustez. Estas bacterias unen unos flóculos con otros provocando exceso de macroestructura y sedimentación muy lenta.

1.2. Objetivo y alcance

2.1. Objetivo principal: caracterización de la microestructura de los flóculos (forma, tamaño, núcleos de formación, estructura, crecimiento disperso bacteriano y puentes interfoculares) y sus posibles cambios ante las variaciones de los principales parámetros operacionales (demanda química de oxígeno, temperatura, pH, carga másica, edad del fango, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión en el licor mezcla y tiempo de retención hidráulico).

2.2. Objetivos secundarios: correlacionar dichos parámetros con la microestructura del fango para optimizar el control del proceso de tratamiento y contraste de los resultados con el estado de la biomasa.

2. Parte experimental

Los trabajos fueron realizados en el laboratorio del Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales (IUACA) y el laboratorio de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante.

2.1. Descripción plantas piloto de depuración de agua

Ambas plantas para el tratamiento de aguas residuales urbanas fueron puestas en marcha y operadas en el laboratorio del Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales (IUACA).

2.1.1. Sistema híbrido UASB-MBR.

La planta combinada consta de los siguientes componentes físicos: un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), con un volumen útil de 25 L y un manto de lodo granular fluidizado de 8L, con campana para la separación del biogás, un reactor aerobio de 12 L y un tanque donde se encuentra la membrana sumergida de 8 L (Mendes, 2015).

Este sistema es alimentado con agua sintética.

Entre los tres componentes del sistema híbrido se realiza recirculación de agua mediante bombas como se muestra en el esquema en la figura 2 (Anexos A).

El reactor aerobio contiene en su interior soporte plástico móvil sobre el que crece la biomasa, llamados carriers y tiene conectada una bomba soplante de oxígeno para que se reproduzca y evolucione la biomasa aerobia.

El tanque de membrana incluye un difusor de aire localizado en la base de las fibras conectado a una bomba soplante para la limpieza de las fibras de la membrana (Mendes, 2015).

Además, la planta consta de una serie de equipos e instrumentos de medida conectados a un panel de control que se puede ver en la figura 2 (Anexos A), que dan información en continuo de las principales variables del proceso, permitiendo controlarlos y modificarlos para mantener el rendimiento del sistema (Mendes, 2015).

2.1.2. MBR de membrana sumergida.

La planta piloto consiste en un sistema Biorreactor de Membrana sumergido y está compuesta por un tanque de aireación de 90 L, se muestra a la izquierda de la figura 3 (Anexo A); dentro del cual se encuentra el módulo de membranas de fibra hueca, Porous Fibers Micronet R, de fluoruro de polivinilideno (PVDF) con un tamaño de poro de 0,4 μm y una superficie filtrante de 2 m^2 , un depósito de alimentación, uno de permeado, soplantes de aireación y una serie de equipos y accesorios controlados mediante un sistema de control automático (Vásquez, 2015), como se muestra en la figura 3 (Derecha, Anexo A).

Este sistema es alimentado con agua sintética.

2.2. Descripción microscopio, cámara digital y software Motic Images Plus 2.0.

En este caso se utilizó una combinación del microscopio trinocular modelo BA210 con la cámara digital Moticom, que podemos ver en la figura 4 del Anexo A, con el software Motic Images Plus 2.0, todos de la marca Motic. Este permite digitalizar las imágenes que se observan en el microscopio, además de permitir hacer mediciones precisas, mejorar las imágenes, crear imágenes multimedia, calcular el número de objetos en la imagen y guardarlas en un ordenador mediante capturas fotográficas o videos (www.moticonline.com).

La cámara está acoplada en la parte superior del microscopio y se conecta al ordenador mediante una salida USB 2.0, el sistema proporciona imágenes de alta resolución en tiempo real o en modo de captura.

2.3. Toma y preparación de muestras.

2.3.1. Toma de muestras.

Fueron extraídas tres tipos diferentes de muestras de las dos plantas piloto descritas en el apartado anterior; estas muestras fueron: permeado y licor mezcla del reactor UASB, licor mezcla del reactor aerobio y del reactor de membrana del sistema híbrido y licor mezcla del biorreactor de membrana sumergido de 90L.

Las muestras fueron extraídas con un dispositivo sencillo construido por el personal del IUACA que consiste en un cubo pequeño sujetado a una goma alargada como se muestra en la figura 5 (Anexo A). Una vez extraída la muestra se introducía en un contenedor de muestras de polipropileno con tapa de rosca (figura 5 (B,C y D) en Anexo A).

2.3.2. Preparación de muestras

Tras extraer las muestras de agua de las plantas depuradoras se procedió a su preparación para ser observadas al microscopio; Para ello con una micropipeta (figura 5 (F) en Anexo A) se recogían unos mililitros de muestra de agua con fango y se dejaban caer unas 4 gotas encima del porta (figura 5 (E) en Anexo A). Finalmente se coloca encima un cubre y ya estaba listo para colocarse entre las dos pinzas de la platina del microscopio.

Posteriormente se encendía la fuente de iluminación y se conectaba la cámara Motic del microscopio al ordenador mediante el programa Motic Images Plus 2.0. A continuación, se iban observando las muestras a diferentes aumentos (4x, 10x, 40x y 100x), cambiando las lentes de los objetivos y enfocando con los mandos coaxiales, además si era necesario se variaba el diafragma para obtener el contraste deseado. Durante el proceso se iban haciendo fotos a los flóculos y microorganismos de interés y anotando las características de los mismos.

3.Resultados y discusión

Los resultados serán analizados de manera comparativa discutiendo los cambios que se han producido en la microestructura del fango y en la biomasa cuando las dos plantas depuradoras trabajaron a carga alta y media.

La mayoría del estudio se realizó a carga alta (desde el 3 de marzo hasta el 23 de mayo) y debido que a carga media (del 23 de mayo hasta el 1 de junio) se tienen menos datos sería interesante un estudio más largo en un futuro.

3.1. Parámetros operacionales de las dos plantas depuradoras

Los datos de los parámetros operacionales fueron facilitados por las personas responsables del control y funcionamiento de las dos plantas piloto del Instituto Universitario del agua y las ciencias ambientales.

En la tabla 1 (Anexo B), se muestran los parámetros operacionales del reactor híbrido durante el seguimiento.

La eficiencia del híbrido es bastante buena rondando de media un 98,84% de disminución de DQO; encontrando la eficiencia más baja con un 98,01% el día 4 de mayo y la eficiencia más alta con un 99,34% el día 20 de abril.

La temperatura media es de 20,56 °C, el pH medio del reactor aerobio es de 6,73 y el pH medio del permeado es de 7,28.

En la tabla 2 (Anexo B), se exponen los parámetros operacionales del biorreactor de membrana sumergido de 90 L.

Se puede observar que la eficacia del biorreactor de membrana es muy buena con una media en la disminución de DQO del 95,57%. Siendo la peor eficacia de un 90,57% el día 25 de mayo, mientras que la mayor eficiencia es de un 97,47% el día 3 de marzo.

La temperatura media es de 22,03 °C, el pH medio del reactor aerobio es de 7,86 y el pH medio del permeado es de 7,78.

3.2. Características del floculo y microorganismos presentes.

En la tabla 3 (Anexo B), se presenta el seguimiento de las características del floculo (forma, tamaño, estructura, presencia o ausencia de núcleos de formación, crecimiento disperso de bacterias y puentes interfloculares) y los microorganismos presentes de los diferente reactores (Híbrido y MBR).

En todas las muestras observadas al microscopio se han encontrado algas, bacterias libres y bacterias filamentosas.

Como observación, en alguna de las muestras se encontró algún grano de polen, seguramente procedente de cuatro coníferas situadas en el exterior del laboratorio.

3.3. Condiciones operacionales medias de las plantas depuradoras

Tabla 4. Parámetros operacionales medios del sistema híbrido.

Medias Parámetros Híbrido	Temperatura (°C)	pH reactor aerobio	Carga másica (kgDQO/kgSSV*d)	Oxígeno disuelto (mg/L)	MLSS (mg/L)	Edad del fango (d)	TRH (h)
Carga alta	20,11	6,69	0,14	8	788,89	90	29,9
Carga media	25,6	6,98	0,11	7,16	1200		

En la tabla 4 se puede ver que cuando la planta trabajaba a carga media la temperatura era 5 grados superior que a alta carga. La concentración de sólidos en suspensión del licor mezcla ha aumentado en un 34,26% a media carga. El pH, la carga másica y el oxígeno disuelto se ha mantenido prácticamente igual en los dos tipos de carga.

Tabla 5. Eficiencia en la disminución de la Demanda Química de Oxígeno del sistema híbrido.

Híbrido	Carga alta	Carga media
DQO(%)	98,8	99,15

Las eficiencias de eliminación de DQO son muy buenas a alta y media carga, son valores prácticamente iguales y se consideran igual de productivos, como se aprecia en la tabla 5.

La temperatura es más elevada cuando se trabaja a media carga, esta variable puede haber ayudado a una mayor velocidad en el metabolismo de las bacterias y la solubilidad de los sustratos; además la concentración de los sólidos en suspensión es considerablemente mayor, por lo tanto se demuestra un mayor desarrollo de la biomasa. La concentración de oxígeno es adecuada y se ha mantenido estable en todo momento.

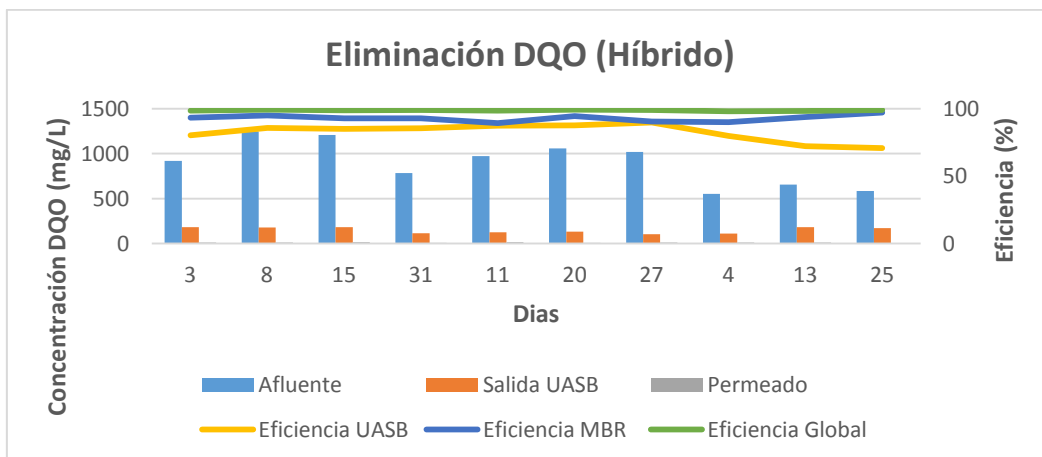


Figura 6. Variaciones en la concentración de DQO y la eficiencia de disminución de DQO en el reactor UASB, en el biorreactor de membrana y la global del sistema.

En la figura 6 se ve que la eficiencia del reactor UASB (línea amarilla) disminuye de manera considerable cuando se cambia a carga media, mientras que la eficiencia del biorreactor de membrana aumenta (línea azul); esto hace que la eficiencia global (línea verde) del sistema híbrido se compense.

Tabla 6. Parámetros operacionales medios del MBR sumergida de 90L.

Medias Parámetros MBR	Temperatura (°C)	pH reactor aerobio	Carga másica (kgDQO/kgSSV*d)	Oxígeno disuelto (mg/L)	MLSS (mg/L)	Edad del fango (d)	TRH (h)
Carga alta	21,11	7,85	0,21	6,67	2950	30	21
Carga media	25,5	7,84	0,18	4,14	3030		

En la tabla 6 se observa que con carga media el biorreactor estaba a una temperatura 4 grados superior. La concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuye apreciablemente cuando cambiamos de carga alta a media. Los sólidos en suspensión del licor mezcla aumentaron solo un 2,64%. El valor de pH y carga másica se mantienen estables.

Tabla 7. Eficiencia media de la disminución de la Demanda Química de Oxígeno en el biorreactor de membrana (90L).

MBR	Carga alta	Carga media
DQO(%)	96,01	93,56

En la tabla 7 se aprecia una pequeña disminución en la eficiencia cuando se trabaja con carga media. La temperatura no ha contribuido en este caso; por el contrario la disminución de la concentración de oxígeno sí puede estar relacionada con el descenso en la eficiencia.

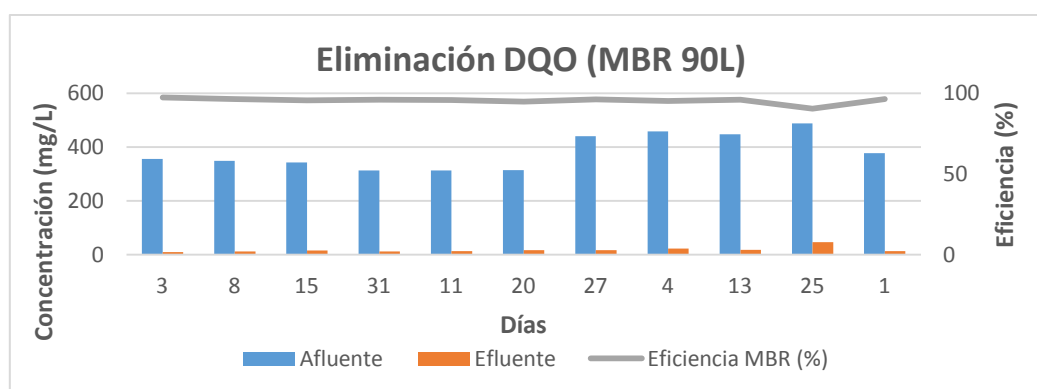


Figura 7. Variaciones en la concentración y la eficiencia de disminución de DQO en el biorreactor de membrana de 90 L.

En la figura 7 se observan unas eficiencias muy altas, exceptuando el pico más bajo el día 25 de mayo, esto puede ser debido a que dos días antes se realizó un cambio en la carga de alimentación, pasó de carga alta a carga media.

3.4. Características microestructurales del flóculo y su relación con las condiciones operacionales.

Carga alta

-Híbrido

Los flóculos de las muestras observadas al microscopio del reactor anaerobio UASB del sistema híbrido siempre mostraron una forma regular, un tamaño grande, presencia de núcleos de formación, estructura compacta, crecimiento disperso de bacterias alto a moderado y en la mayoría de los casos no se encontraron puentes interfloculares.

En las muestras del biorreactor aerobio de membrana del sistema híbrido se encontraron flóculos irregulares, de tamaño mediano a grande, con presencia de núcleos de formación solo la mitad de las muestras, estructura principalmente abierta, crecimiento disperso bajo y en muy pocas ocasiones se vieron puentes interfloculares.

-MBR(90L)

Las características de los flóculos que se estudiaron pertenecientes al biorreactor de membrana de 90 L son las siguientes: forma irregular, tamaño mediano a grande, ausencia de núcleos de formación, estructura prácticamente siempre abierta, crecimiento disperso de bacterias bajo y casi siempre se captaba formación de puentes interfloculares.

Carga media

-Híbrido

Las características del flóculo del UASB son exactamente iguales que las descritas en carga alta, por lo tanto no ha habido variaciones y el cambio de carga no ha influido.

El floculo del MBR perteneciente al sistema híbrido presenta unos flóculos de forma irregular, de tamaño medianos, con presencia de núcleos de formación, con estructura compacta y abierta al cincuenta por ciento, crecimiento disperso de bacterias bajo y presencia de puentes interfloculares. Algunas propiedades se mantienen igual que a alta carga, las diferencias son: los flóculos tienen un tamaño algo inferior, mayor presencia de núcleos de formación y se encuentran más estructuras compactas.

-MBR (90L)

Las muestras del biorreactor de membrana de 90L mostraron un flóculo irregular, mediano a grande, con ausencia de núcleos de formación, de estructura disgregada, con crecimiento disperso de bacterias moderado y con presencia de puentes interfloculares. La estructura se empeoró un poco con el cambio de carga de trabajo, siendo en este caso un flóculo disgregado y, por lo

tanto, menos denso; además ha aumentado el crecimiento disperso de bacterias, esta circunstancia no implica problemas, pero si aumentara en exceso podría generar problemas de turbidez en el efluente, ya que las bacterias libres no tienen capacidad de sedimentación.

En la tabla 8 se resumen la evolución de los flóculos de las diferentes muestras de agua a diferentes cargas.

Tabla 8. Resumen de las características del flóculo y su relación con las condiciones operacionales.

Características del flóculo y su relación con las condiciones operacionales			
Carga alta	Híbrido	UASB	Todas las características muestran un estado del flóculo óptimo, exceptuando en alguna ocasión debido a un crecimiento alto de bacterias libres.
		MBR	Los flóculos tienen mayor tamaño que a carga media, lo cual es algo positivo, sin embargo presentan menor presencia de núcleos de formación y menos estructuras compactas.
	MBR (90L)		Estructura abierta, por lo tanto mejor que a carga media y menor crecimiento disperso de bacterias.
Carga media	Híbrido	UASB	Características del flóculo del UASB son exactamente iguales que las descritas en carga alta, por lo tanto no han habido variaciones y el cambio de carga no ha influido.
		MBR	Los flóculos tienen un tamaño algo inferior, mayor presencia de núcleos de formación y se encuentran más estructuras compactas.
	MBR (90L)		La estructura a empeorado un poco con el cambio de carga de trabajo, siendo en este caso un flóculo disgregada y, por lo tanto, menos denso; además ha aumentado el crecimiento disperso de bacterias, esta circunstancia no implica problemas, pero si aumentará en exceso podría generar problemas de turbidez en el efluente, ya que las bacterias libres no tienen capacidad de sedimentación.

En el caso del reactor UASB no se observa cambio alguno.

En el reactor de membrana aerobio los flóculos parecen tener mejores características a carga media, ya que tienen mayor presencia de estructuras compactas y de núcleos de formación.

Los flóculos del reactor de membrana de 90L han empeorado sus características cuando se ha cambiado a carga media. A esta carga se presentaba estructura disgregada y mayor crecimiento disperso de bacterias.

3.5. Relación entre los microorganismos presentes y el estado operacional (bioindicación)

Carga alta

-Híbrido

En el reactor UASB se encontraron de manera constante las especies *Aspidisca lynceus*, *Arcella discoidea* (tecameba) y diatomeas, solo en una muestra se vio una *Vorticella sp.*

La presencia de *Aspidisca* significa que el sistema está estable y que por lo tanto existe una buena eficacia en la depuración; las diatomeas se suelen ubicar en aguas con bajas concentración de sólidos y buenas calidades del efluente; la *Arcella* se suele encontrar asociada a buenos rendimientos en depuración, baja carga orgánica (ya que las muestras se obtuvieron del sobrenadante), altos tiempos de retención celular y buena oxigenación (Isac et al., 2008) (en teoría, el reactor UASB es anaerobio, pero en este caso al ser un sistema híbrido, recibe recirculación desde el reactor de membrana que es aerobio; por ello no es raro encontrar microorganismos aerobios en el tanque anaerobio).

En el MBR del sistema híbrido se observaron con mayor frecuencia los microorganismos *Opercularia sp.*, *Notommata glyphura* (Rotífero) y *Arcella discoides* (Tecameba); con menor asiduidad, aunque considerable se vieron *Vorticellas sp.* y diatomeas. Tan solo en un casos aislados se halló *Zooglea ramigera*, *Litonotus lamella*, *Actinosphaerium sp.* y *Aspidisca lynceus*.

En este caso encontramos *Opercularia sp.* en la mayoría de las muestras, pero aún así, no es la especie predominante, ni se encuentra en mucha concentración, si se diera este caso se asociaría a oxigenación insuficiente, choques de carga y condiciones cambiantes en el reactor; No se considera significativo ,ya que los parámetros de operación son buenos, pero es interesante controlar periódicamente la evolución de esta especie para evitar problemas de depuración. La presencia de *Notommata glyphura* (Rotífero) indica elevada edad del fango y buena calidad del agua tratada; *Arcella discoides* (Tecameba) se asocia a buenos rendimientos en depuración, baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular y buena oxigenación (Isac et al., 2008).

Estas muestras observadas al microscopio mostraron una amplia variedad de tipos de microorganismos, además la mayoría de ellos están asociados a estabilidad y buena calidad de efluente.

-MBR (90L)

En el biorreactor de membrana sumergida de 90L se localizaron con frecuencia *Opercularia sp.*, *Vorticella sp.* y *Litonotus lamella*; en menor medida se observó *Notommata glyphura* (rotífero), *zooglea ramigera*, *Arcella discoides* (tecameba) y *Actinosphaerium sp.*

La dominancia de *Vorticella* se vincula a un funcionamiento estable en la planta de depuración (Isac et al., 2008). *Litonotus* aparece a bajas densidades, por ello se relaciona con estabilidad ecológica, si aumentara la densidad de este microorganismo significaría un deterioro del sistema. La existencia de *Opercularia* en la muestra se asociaría a oxigenación insuficiente, choques de carga y condiciones cambiantes en el reactor (Isac et al., 2008), pero en nuestro caso no afecta negativamente a las condiciones de operación.

Carga media

-Híbrido

En el reactor UASB se encontraron las mismas especies que a alta carga: *Aspidisca lynceus*, *Arcella discoides* (Tecameba) y diatomeas, excepto la *Vorticella sp.*; además posiblemente se observó algún nematodo. Los nematodos son indicadores de elevada edad del fango (Isac et al., 2008).

En las muestras del reactor MBR del híbrido se encontraron asiduamente *Litonotus lamella* y *Opercularia sp.*; con menor frecuencia *Zooglea Ramigera*, diatomeas y posiblemente nematodos. Al cambiar a carga media se ha reducido el tipo de microorganismos asociadas al buen funcionamiento del sistema.

-MBR (90L)

En el biorreactor de membrana sumergida de 90L las especies más comunes fueron: *Opercularia sp.*, *Vorticella sp.* y *Notommata glyphura* (rotífero); además se observó la especie *Aspidisca lynceus*. Con la planta trabajando con carga media ha disminuido la variedad de microorganismos existentes.

En la tabla 9 se resume la situación encontrada. Se puede decir que los microorganismos identificados en el reactor UASB son los mismos tanto a carga alta como a media, sin embargo tanto en el biorreactor de membrana (perteneciente al híbrido) y en el biorreactor de membrana de 90L se ha producido una disminución de la variedad de microorganismos cuando las plantas depuradoras trabajan a carga media.

Tabla 9. Evolución microorganismo presentes a diferente carga.

Bioindicación (microorganismos)			
Carga alta	Híbrido	UASB	Muestran buena depuración.
		MBR	Amplia variedad de tipos de microorganismos, la mayoría asociados a estabilidad y buena calidad de efluente.
	MBR		Funcionamiento estable en la planta de depuración, estabilidad ecológica.
Carga media	Híbrido	UASB	No hay cambios, los microorganismos encontrados son los mismos, por lo tanto siguen indicando buen estado de la depuración.
		MBR	Reducción del tipo de microorganismos asociadas al buen funcionamiento del sistema.
	MBR		Disminución de la variedad de microorganismos existentes.

3.6. Fotografías tomadas con el microscopio

Híbrido

Reactor UASB (anaerobio) del complejo híbrido

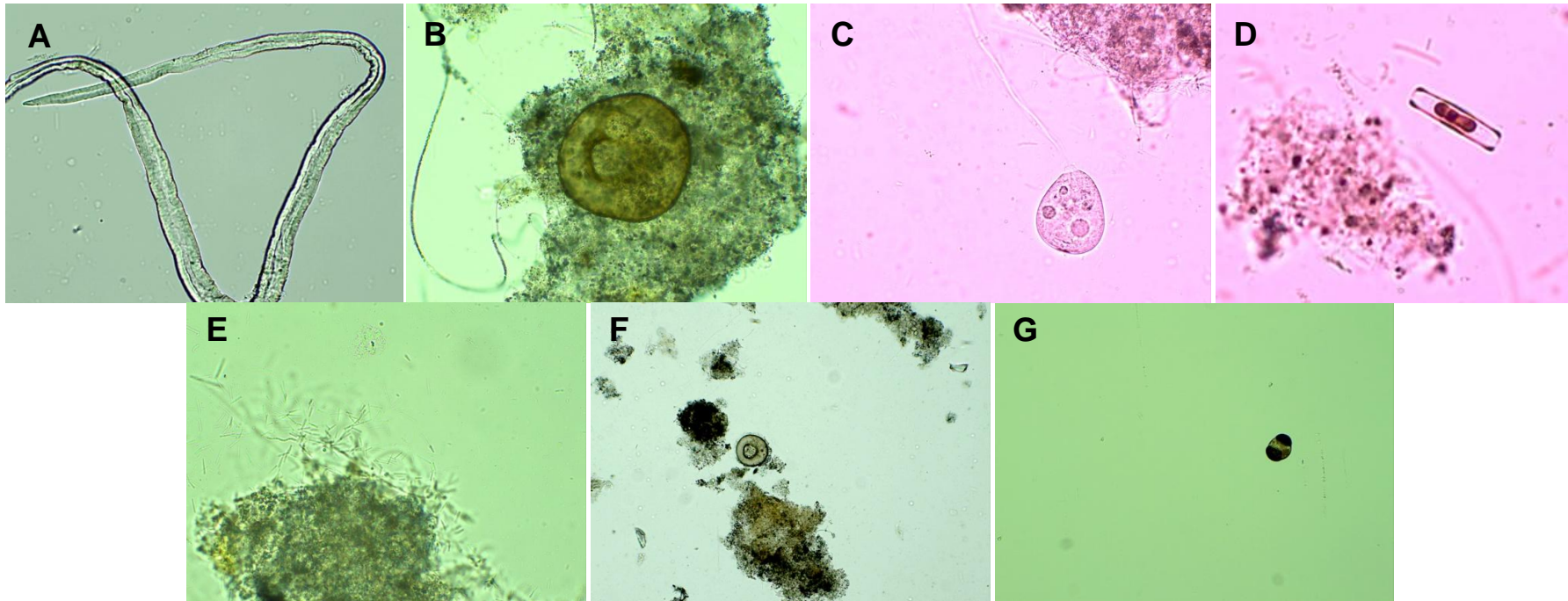


Figura 8. Fotografías de las muestras de agua residual del Reactor UASB. (A) Posiblemente Nemátodo, 100x. (B) Arcella discoides (Tetameba), 40x. (C) Vorticella sp.40x. (D) Diatomea, 40x (zoom aumentado). (E) Flóculo rodeado de bacterias, 40x . (F)Arcella discoides (Tetameba), 10x. (G) Grano de polen de conífera, 10x. (Elaboración propia).

MBR (aerobio) del híbrido



Figura 9. Fotografías de las muestras de agua residual del biorreactor de membrana del sistema híbrido. (A) *Litonotus lamella*, 40x. (B) *Opercularia minima* 40x. (C) *Aspidisca lynceus*, 40x. (D) *Opercularia* sp. 40x. (E) *Zooglea ramigera*, 40x. (F) *Litonotus lamella*, 10x (zoom aumentado). (G) Puentes interfloculares, 10x. (Elaboración propia).

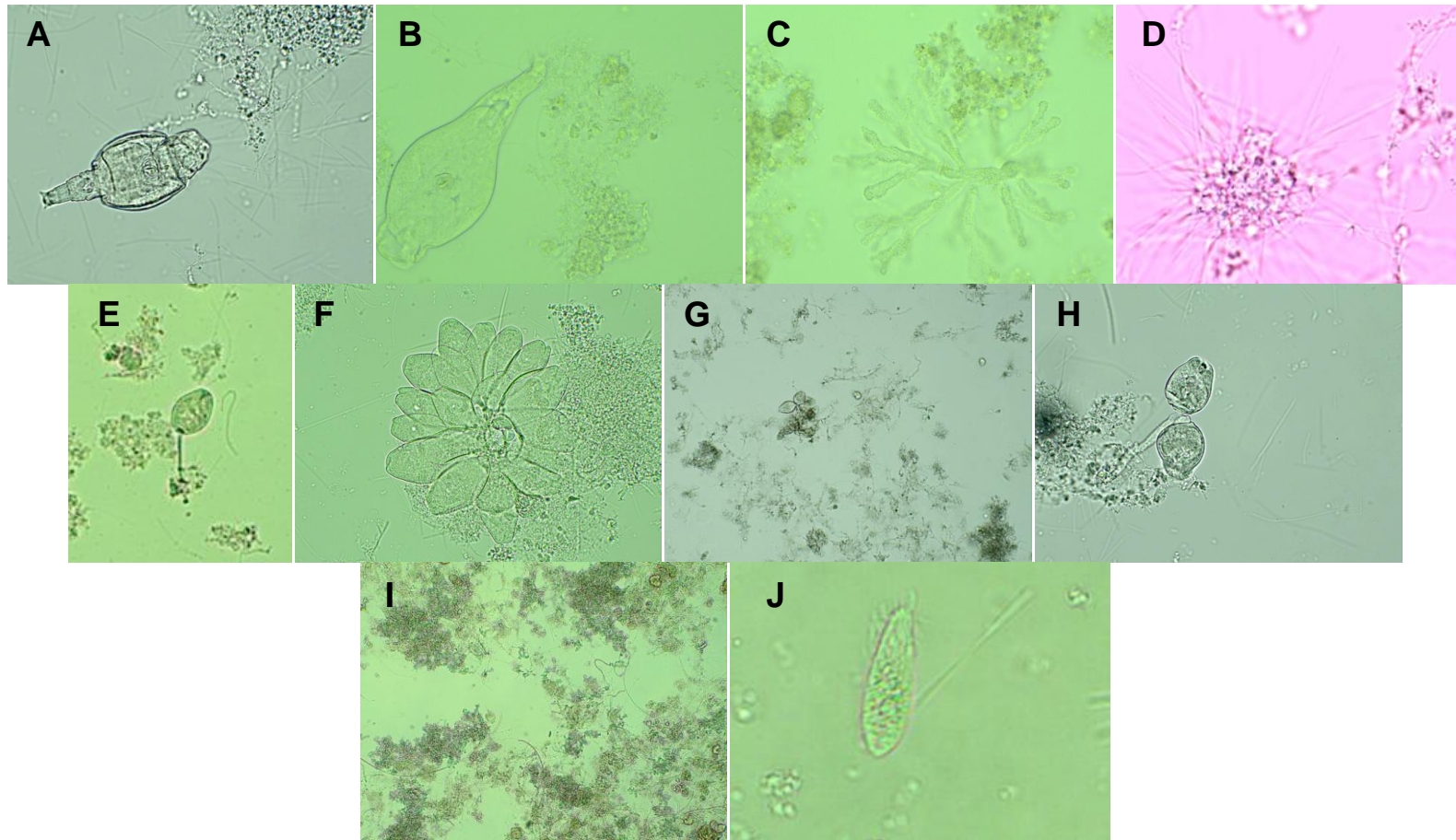
Biorreactor de membrana

Figura 10. Fotografías de las muestras de agua residual del biorreactor de membrana sumergida. (A) y (B) *Notommata glyphura* (rotífero), 40x. (C) *Zooglea ramigera*, 100x. (D) *Actinosphaerium*. sp. (Heliozoo), 40x. (E) *Vorticella* sp., 10x (zoom aumentado). (F) *Opercularia microdiscum*, 40x. (G) Estructura del flóculo disgregada, 10x. (H) *Opercularia minima*, 40x. (I) Muchos puentes interfloculares, 10x. (J) *Litonotus lamella*, 40x. (Elaboración propia).

4. Conclusión

La eficiencia de disminución de DQO es muy elevada en ambas plantas depuradoras, rozando el 100%.

En el sistema híbrido se dan eficiencias de eliminación de DQO muy buenas a alta y media carga; los valores son prácticamente iguales, siendo estos 98,8 y 99,15 %, y se consideran igual de productivos. A carga media se encontraron mejores características del flóculo, y a carga alta se observó mayor variedad de tipos de microorganismos.

En el reactor UASB se encontraron de manera constante las especies: *Aspidisca lynceus*, *Arcella discoides* (tecameba) y diatomeas, solo en una muestra se vio una *Vorticella sp.*; Todas ellas muestran estabilidad en el sistema y buenos rendimientos de depuración. No se encontraron cambios en la biomasa cuando la planta trabajaba a las diferentes cargas.

En el MBR del sistema híbrido la mayoría de los microorganismos indicaban estabilidad y buena calidad de efluente, a excepción de la *Opercularia sp.* que se asociaría a oxigenación insuficiente, choques de carga y condiciones cambiantes en el reactor; esta especie no se considera predominante, por lo tanto en este estudio no se considera significativo, ya que los parámetros de operación son buenos, pero es interesante controlar periódicamente la evolución de esta especie para evitar problemas de depuración.

Cuando el biorreactor de membrana de 90L se alimenta con carga alta se obtienen mejores eficiencias de eliminación de DQO, siendo de un 96,01%; a la vez se observaron mejores características del flóculo y mayor variedad de tipos de microorganismos a esta carga. Se localizaron con frecuencia *Opercularia sp.*, *Vorticella sp.* y *Litonotus lamella*. La dominancia de *Vorticella sp.* indica un funcionamiento estable en el reactor; sin embargo si aumentara la densidad de *Opercularia sp.* y *Litonotus lamella* afectaría negativamente a las condiciones de operación, por ello sería interesante llevar un control futuro de la biomasa de este lodo.

En general el examen microscópico de los fangos es muy útil, ya que permite seguir el desarrollo del tratamiento y, eventualmente, detectar algunas anomalías producidas por la presencia de una determinada especie bacteriana.

5. Bibliografía

Francés García, Félix Ramón, Zornoza Zornoza, Andrés M. y Barbarroja Ortiz, Paula, 2011. *Curso Control del proceso para operadores de EDAR.* Módulo III. Descripción del modelo biológico, (7- 8). Módulo IV. Control del proceso biológico, (5-11). Facilitado por el cotutor de este trabajo.

Isac, Laura, Rodríguez, Eva, Salas, Lola, Fernández, Natividad y Zornoza, Andrés, 2008. *Atlas de protistas y micrometazoos presentes en fangos activos.* Recuperado de http://es.slideshare.net/bioindicacion/atlas-de-protistas-y-metazoos-presentes-en-fangos-activos?qid=8c797022-a592-4a30-b790-a64ede80d6f4&v=&b=&from_search=1

Mendes Predolin, Lyvia, 2015. *Estudio de un sistema híbrido UASB+MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas* (Trabajo final de Máster). Recuperado de la biblioteca del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias ambientales.

Motic Images Plus 2.0. Información disponible en: <http://www.moticonline.com/s/software/Software%20Motic%20Images%20Plus%202.0/>

Poch Espallargas, Manuel, 1999. *Las calidades del agua.* Editorial Rubes. (122-126). Consultado en la biblioteca de la Universidad Miguel Hernández.

Ruiz Vázquez, Juan, Figueredo Delgado, Arantza, Gallego Sosa, Enrique y Domínguez Tello, Antonio, 1999. *Bioindicadores del fango activado y su relación con el rendimiento de la EDAR de Rompido (Huelva)* (Artículo técnico). Recuperado de http://www.bibliotecagbs.com/archivos/ta_193_1.pdf

Vásquez R., Edgardo D., 2015. *Estudio de biorreactor de membrana para el tratamiento de aguas residuales urbanas* (Trabajo final de Máster). Recuperado de la biblioteca del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias ambientales.

Estudio en planta piloto de la microestructura del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales.

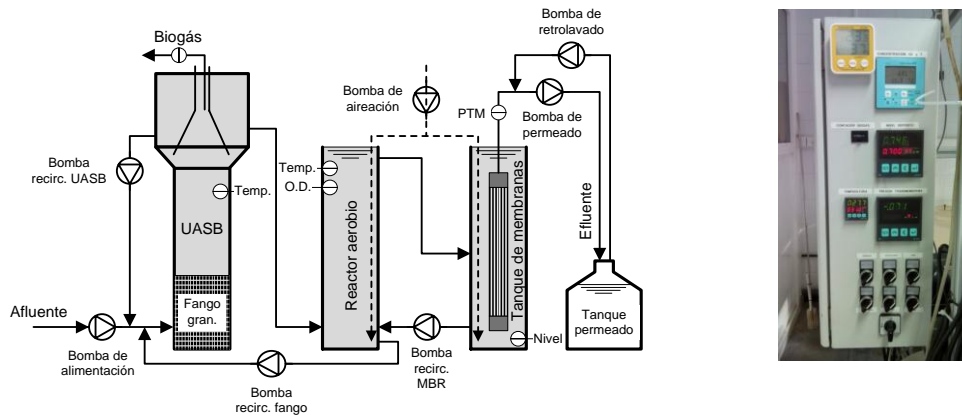
Zambrano Juca, Daniel Orlando, 2013. *Caracterización de las propiedades morfológicas de los flóculos de fangos activados mediante técnicas de análisis de imagen.* Trabajo final de máster (Universidad Politécnica de Valencia). Recuperado de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1197>

Zarate Cortes, Karen Estefanía, 2013. *Tratamiento biológico de aguas residuales.* Recuperado de http://es.slideshare.net/estefanycortz/tratamiento-biologico?qid=c1015c75-f7ed-48aa-b13c-fbc190445456&v=&b=&from_search=1

Zornoza Zornoza, Andrés Miguel, 2012. *Análisis de las correlaciones entre los parámetros operacionales, físicos-químicos y biológicos asociados al proceso de fangos activos.* Recuperado de http://www.slideshare.net/bioindicacion/2012-presentacin-analisis-de-las-correlaciones-entre-variables-biologicas-y-ambientales-en-edar?qid=0ac51d36-5fbd-4879-86f4-9ce23a40dd40&v=&b=&from_search=1

Zornoza Zornoza, Andrés Miguel, 2013. *Control biológico de fango activo. Jornada técnica de nuevas tecnologías y avances en el control e instrumentación de la calidad en aguas residuales y regeneradas.* Barcelona 30 de octubre de 2013. Recuperado de http://www.slideshare.net/bioindicacion/jornada-tnica-2013-control-biologico-del-fango-activo?qid=7ef6941d-73e1-489a-9497-dcd63ed84dcd&v=&b=&from_search=1

Anexos A. Figuras



Figuras 2. Esquema con los elementos del sistema UASB-MBR (Mendes, 2015) y panel de control (elaboración propia).



Figura 3. Biorreactor de membrana sumergida externa de 90L y panel de control (elaboración propia).



Figura 4. Microscopio trinocular BA210 Motic a la izquierda y cámara digital Moticom a la derecha (elaboración propia).

Estudio en planta piloto de la microestructura del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales.

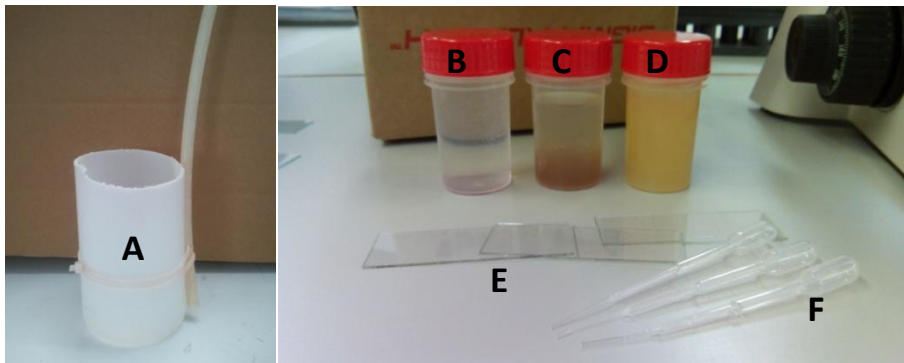


Figura 5. A la izquierda dibujo de aparato para extracción de muestras (A) y a la derecha contenedores con las muestras siguientes: permeado del reactor (B) UASB, licor mezcla del reactor aerobio perteneciente al híbrido (C) y licor mezcla del MBR de 90 L (D); abajo se presentan muestras preparadas (cubre con una gota de licor mezcla tapada con el cubre) para ser observadas al microscopio (E) y micropipetas desechables para elaborar las muestras (F) (elaboración propia).

Anexos B. Tablas

Tabla 1. Parámetros operacionales del reactor híbrido.

FECHA (Híbrido)	Demanda química de oxígeno (mg/L)			Eficiencia Disminución DQO (%)			Temperatura (°C)	pH reactor aerobio	pH permeado	Carga másica (kgDQO/kgSSV*d)	Edad del Fango (días)	Oxígeno disuelto (mg/L)	MLSS (mg/L)	Tiempo de Retención Hidráulico (h)
	Afluente	Salida UASB	Permeado	Eficiencia UASB	Eficiencia MBR	Eficiencia Híbrido								
03/03/2016 (Carga alta)	919	182	12	80,20	93,41	98,69	19,8	6,53	6,95	0,18	90	7,56	775	29,9
08/03/2016 (Carga alta)	1248	179	9	85,66	94,97	99,28	16,6	7,33	7,34	0,21	90	8,43	625	29,9
15/03/2016 (Carga alta)	1208	181	13	85,02	92,82	98,92	17,6	6,82	7,05	0,21	90	8,22	650	29,9
31/03/2016 (Carga alta)	785	114	8	85,48	92,98	98,98	21,3	6,81	7,1	0,11	90	6,26	775	29,9
11/04/2016 (Carga alta)	974	123	13	87,37	89,43**	98,67	20,4	6,44	7,04	0,12	90	7,27	775	29,9
20/04/2016 (Carga alta)	1059	131	7	87,63	94,66	99,34*	22	6	7,42	0,13	90	9,88	775	29,9
27/04/2016 (Carga alta)	1018	105	10	89,69*	90,48	99,02	20,9	6,67	7,08	0,07	90	10,12	775	29,9
04/05/2016 (Carga alta)	553	111	11	79,93	90,09	98,01**	20,8	6,48	7,2	0,10	90	7,14	875	29,9
13/05/2016 (Carga alta)	656	182	11	72,26	93,96	98,32	21,6	7,17	7,47	0,13	90	7,15	1075	29,9
25/05/2016 (Carga media)	585	171	5	70,77**	97,08*	99,15	25,6	6,98	7,52	0,11	90	7,16	1200	29,9

*La eficiencia más alta.

**La eficiencia más baja.

Estudio en planta piloto de la microestructura del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales.

Tabla 2. Parámetros operacionales del biorreactor de membrana sumergido.

FECHA (MBR)	Demanda química de oxígeno (mg/L)		Ef. Disminución DQO (%)	Temperatura (°C)	pH reactor aerobio	pH permeado	Carga másica (kgDQO/kgSSV ⁺ d)	Edad del Fango (días)	Oxígeno disuelto (mg/L)	MLSS (mg/L)	TRH (h)
	Afluente	Efluente	Eficiencia MBR (%)								
03/03/2016 (Carga alta)	356,1	9	97,47*	18,6	7,76	7,82	0,16	30	8,38	2600	20,28
08/03/2016 (Carga alta)	348,83	12	96,56	17,1	7,94	8,11	0,14	30	8,52	2850	20,71
15/03/2016 (Carga alta)	342,93	15	95,63	18,9	7,75	7,72	0,11	30	8,51	3570	20,28
31/03/2016 (Carga alta)	312,68	12	96,16	21,8	7,8	7,75	0,18	30	7,71	2070	20,05
11/04/2016 (Carga alta)	313,17	13	95,85	22,6	7,97	7,56	0,28	30	7,03	1250	21,73
20/04/2016 (Carga alta)	314,15	16	94,91	23,5	7,9	7,74	0,3	30	6,24	1075	23,72
27/04/2016 (Carga alta)	440,98	16	96,37	22,4	7,8	7,46	0,15	30	5,37	1850	21,41
04/05/2016 (Carga alta)	458,05	22	95,20	21,7	7,79	7,75	0,3	30	3,4	1530	23,72
13/05/2016 (Carga alta)	447,8	18	95,98	23,4	7,98	7,86	0,25	30	4,89	2100	20,56
25/05/2016 (Carga media)	488	46	90,57**	26,8	7,91	7,9	0,21	30	2,32	2950	19,26
01/06/2016 (Carga media)	377,56	13	96,56	25,5	7,84	7,88	0,15	30	6	3030	20,28

*La eficiencia más alta.

**La eficiencia más baja.

Tabla 3. Seguimiento de las características del flóculo, los microorganismos presentes y las observaciones de los diferente reactores (Híbrido y MBR).

Fecha	Reactores		Forma	Tamaño	Núcleos	Estructura	Crecimiento disperso	Puentes interfloculares	Microorganismos presentes
02/03/2016 (Carga alta)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, moderado	No	<i>Aspidisca lynceus</i> , <i>Arcella discoides</i> (tecameba)
		MBR	Irregular	Grande	Presencia	Abierta	Sí, bajo	No	<i>Opercularia sp.</i> , <i>Arcella discoides</i> (tecameba), <i>Vorticella sp.</i> , <i>Notommata glyphura</i> (rotífero)
	MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Abierta	Sí, bajo	No	<i>Zooglea ramigera</i> , <i>Arcella discoides</i> (tecameba)	
09/03/2016 (Carga alta)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, bajo	No	diatomeas, polen de Conífera
		MBR	Irregular	Grande	Ausencia	Compacta	Sí, bajo	No	<i>Opercularia sp.</i> , <i>Vorticella sp.</i> , <i>Aspidisca lynceus</i> , <i>Notommata glyphura</i> (Rotífero), diatomea, <i>Zooglea ramigera</i>
	MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Abierta	Sí, bajo	No	<i>Litonotus lamella</i> , <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Opercularia sp.</i>	
16/03/2016 (Carga alta)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	<i>Arcella discodes</i> (tecameba)
		MBR	Irregular	Grande	Presencia	Abierta	Sí, moderado	No	<i>Arcella discoides</i> (tecameba), <i>Litonotus lamella</i> , <i>Opercularia sp.</i> , <i>Actinosphaerium sp.</i> , <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Vorticella sp.</i>
	MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Abierta	Sí, moderado	Sí	<i>Litonotus lamella</i> , <i>Opercularia sp.</i> , <i>Vorticella sp.</i> , <i>Notommata glyphura</i> (rotífero)	

Estudio en planta piloto de la microestructura del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales.

06/04/2016	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, moderado	No	<i>Arcella discoides</i> (Tecameba), <i>Diatomeas</i> , <i>Aspidisca lynceus</i>
		MBR	Irregular	Mediano	Presencia	Disgregada	Sí, bajo	Sí	Solo se apreciaron lo mismo que en las demás: bacterias libres, filamentosas y algas
	MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Disgregada	Sí	Sí	<i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i> (muchas densidad)	
20/04/2016	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí	No	<i>Arcella discoides</i> (tecameba), <i>Aspidisca lynceus</i> , diatomea
		MBR	Irregular	Mediano	Presencia	Abierta	Sí, moderado	No	<i>Arcella discoides</i> (tecameba), <i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i> , diatomea
	MBR	Irregular	Grande	Ausencia	Compacta	Sí, bajo	No	<i>Vorticella sp.</i> , <i>Opercularia sp.</i> , polen de Conífera	
27/04/2016	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	Solo se apreciaron lo mismo que en las demás: bacterias libres, filamentosas y algas
		MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Disgregada	Sí, bajo	Sí	<i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i> , Diatomea
	MBR	Irregular	Grande	Ausencia	Abierta	Sí, moderado	Sí, muchos	<i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Vorticella sp.</i> , <i>Litonotus lamella</i>	
04/05/2016	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	<i>Arcella discoides</i> (tecameba), diatomea
		MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Abierta	Sí, bajo	No	<i>Arcella discoides</i> (tecameba), <i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i>
	MBR	Irregular	Grande	Presencia	Abierta	Sí, alto	Sí	<i>Opercularia sp.</i> , <i>Vorticella sp.</i> , <i>Litonotus lamella</i>	

Estudio en planta piloto de la microestructura del fango aerobio/anaerobio en diferentes condiciones operacionales.

11/05/2016 (Carga alta)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	<i>Arcella discooides</i> (tecameba), diatomea, <i>Vorticella sp.</i> , polen de Conífera
		MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Abierta	Sí, bajo	No	<i>Arcella discooides</i> (tecameba), <i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i> , <i>Vorticella sp.</i> , <i>zooglea ramigera</i> , polen de Conífera
	MBR	Irregular	Mediano	Ausencia	Disgregada	Sí, bajo	Sí	<i>Vorticella sp.</i> , <i>Opercularia sp.</i> , <i>Actinosphaerium sp.</i>	
25/05/2016 (Carga media)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	<i>Arcella discooides</i> (tecameba), <i>Diatomea</i> , <i>Aspidisca lynceus</i>
		MBR	Irregular	Mediano	Presencia	Compacta	Sí, bajo	Sí, pocos	<i>Litonotus lamella</i> , diatomea
	MBR	Irregular	Grande	Ausencia	Disgregada	Sí, moderado	Sí, muchos	<i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Opercularia sp.</i> , <i>Vorticella sp.</i>	
01/06/2016 (carga media)	Híbrido	UASB	Regular	Grande	Presencia	Compacta	Sí, alto	No	<i>Arcella discooides</i> (tecameba), diatomea, nemátodo (posiblemente)
		MBR	Irregular	Mediano	Presencia	Abierta	Sí, bajo	Sí, pocos	<i>Litonotus lamella</i> , <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Opercularia sp.</i> , nemátodo (posiblemente)
	MBR	Irregular	Pequeño	Ausencia	Disgregada	Sí, moderado	Sí	<i>Notommata glyphura</i> (rotífero), <i>Vorticella sp.</i> , <i>Opercularia sp.</i> , <i>Aspidisca lynceus</i>	