

**ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS IFAS (INTEGRATED FIXED/FILM  
ACTIVATED SLUDGE) Y MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR) PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

**MARÍA ALEJANDRA COLONIA MOYA  
SERGIO ANDRÉS PEÑA PARRALES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2017**

**ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS IFAS (INTEGRATED FIXED/FILM  
ACTIVATED SLUDGE) Y MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR) PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

**MARÍA ALEJANDRA COLONIA MOYA  
SERGIO ANDRÉS PEÑA PARRALES**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico**

**Director**

**MARIO GARCÍA SOLANO  
Ingeniero Civil, MSc.**

**Codirector**

**EDGAR RICARDO OVIEDO  
Ingeniero Sanitario, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2017**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. CONCEPTOS TEÓRICOS</b> .....	15
1.1. QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	15
1.2. BIOLOGÍA DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	17
1.3 FILTROS PERCOLADORES.....	17
1.4 LODOS ACTIVADOS.....	19
1.5 CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS (CBR) Ó BIODISCOS.....	20
1.6 INTEGRATED FIXED/FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS) .....	21
1.7 MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR).....	23
<b>2. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	25
2.1 FASE 1: BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN .....	25
2.2 FASE 2: FILTRADO DE DOCUMENTOS .....	26
2.3 FASE 3: EXTRACCIÓN DE DATOS Y SÍNTESIS NARRATIVA.....	27
<b>3. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	29
3.1. SÍNTESIS DE LOS ARTÍCULOS INVESTIGADOS .....	29
3.1.1. Temperatura .....	33
3.1.2. Remoción Total De Nitrógeno Y Área Superficial Del Soporte .....	33
3.1.3. pH .....	34
3.1.4. TRH Y DQO .....	34

3.1.5. Sólidos Suspendidos Totales.....	35
3.1.6. Remoción De Fósforo y Nitrificación/Desnitrificación,.....	36
3.1.7. Aspectos Económicos y Ambientales .....	36
3.2 EXPERIENCIAS DE LAS TECNOLOGÍAS IFAS Y MBBR .....	37
3.2.1 Experiencia MBBR .....	37
3.2.2 Experiencia IFAS .....	38
3.2.3 Experiencia a escala real.....	38
3.3 FIRMAS COMERCIALIZADORAS.....	40
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Configuración de Proceso IFAS Fuente: [14].	22
Figura 2. Proceso MBBR. [21].	23
Figura 3. Configuración MBBR para la remoción de DBO y DQO. [57].	24
Figura 4. Configuración MBBR para promover la nitrificación. Fuente: [57].	24
Figura 5. Fases de la metodología	25

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Filtros percoladores	18
Tabla 2. Ventajas y Desventajas de Lodos Activados.	19
Tabla 3. Ventajas y Desventajas de Biodiscos	21
Tabla 4. Ventajas y Desventajas de proceso IFAS	22
Tabla 5. Ventajas y Desventajas de proceso MBBR	24
Tabla 6. Aspectos Económicos procesos IFAS y MBBR	29
Tabla 7. Aspectos técnicos sobre procesos IFAS.	31
Tabla 8. Aspectos técnicos sobre procesos MBBR	32
Tabla 9. Firmas Comercializadoras	41
Tabla 10. Diferentes tipos de Soportes de Veolia	42
Tabla 11. Diferentes tipos de Soportes de BioFill.	42
Tabla 12. Diferentes tipos de Soportes de Headworks	43

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Materia Orgánica	67
ANEXO B. Medida de Contenido Orgánico	68
ANEXO C. Materia Inorgánica	69
ANEXO D. Gases	71
ANEXO E. Biología de las aguas residuales	72

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS IFAS (INTEGRATED FIXED/FILM ACTIVATED SLUDGE) Y MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS\*

**AUTOR:** COLONIA MOYA, Maria Alejandra  
PEÑA PARRALES, Sergio Andrés\*\*

**PALABRAS CLAVES:** nitrificación, IFAS, MBBR, biosoportes, tiempo de retención celular, recursos hídricos.

### DESCRIPCIÓN:

La problemática ambiental que se ha podido evidenciar ha conllevado a problemas serios de salud pública, todo ello debido al ritmo frenético en el crecimiento de la producción a nivel mundial y la gran cantidad de desechos que son arrojados a fuentes hídricas sin ninguna regulación. Por ello, diferentes países reconocen la necesidad de ejecutar estrategias para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos. Sin embargo, sólo hasta finales del siglo XIX este tema recibió atención impulsando una creciente demanda en la búsqueda de alternativas con mayor eficiencia en el tratamiento y la gestión de las aguas residuales domésticas.

En esta revisión se abordan y discuten los principales aspectos técnicos, económicos y ambientales, además de experiencias y firmas comercializadoras de las tecnologías IFAS y MBBR para el tratamiento de aguas residuales domésticas. En este contexto se discuten y comparan los rendimientos de remoción, parámetros de operación y mantenimiento de los tratamientos biológicos en mención.

Gran parte de las aplicaciones de éstas tecnologías están fundamentadas en la disminución del volumen de biorreactor debido a la implementación de biosoportes que aumentan el tiempo de retención celular dentro de los reactores promoviendo procesos como la nitrificación. La información recopilada corresponde a la investigación, desarrollo e implementación de los tratamientos IFAS y MBBR para la remoción de nutrientes de las aguas residuales domésticas.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico químicas, Escuela de ingeniería química. Director: Mario García Solano Ingeniero Civil, MSc. Codirector Edgar Ricardo Oviedo

## ABSTRACT

**TITLE:** STATE OF ART OF IFAS (INTEGRATED FIXED / FILM ACTIVATED SLUDGE) AND MBBR (MOVING BED BIOFILM REACTOR) FOR THE TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER\*

**AUTHOR:** COLONIA MOYA, Maria Alejandra  
PEÑA PARRALES, Sergio Andrés\*\*

**KEY WORDS:** nitrification, IFAS, MBBR, biocarrier, cell retention time, water, resources, developed countries.

### DESCRIPTION:

The environmental problems that have been demonstrated have led to serious public health problems, all due to the frenetic pace of global production growth and the large amount of waste that is dumped into water sources without any regulation. Therefore, different countries recognize the need to implement strategies to ensure the sustainability of water resources. However, it was not until the late nineteenth century that this issue was addressed by a growing demand for more efficient alternatives in the treatment and management of domestic wastewater.

This review addresses and discusses the main technical, economic and environmental aspects, as well as experiences and companies that sell the media support for the IFAS and MBBR technologies for the treatment of domestic wastewater. In this context, the removal yields, parameters of operation and maintenance of the biological treatments in question are discussed and compared.

Most of the applications of these technologies are based on the reduction of the volume of bioreactor due to the implementation of biocarrier that increase the time of cellular retention within the reactors promoting processes like the nitrification. The information collected corresponds to the research, development and implementation of IFAS and MBBR treatments for the removal of nutrients from domestic wastewater in developed countries.

---

\* Degree Project

\*\* Faculty of Engineering Physical Chemical. School of Engineering Chemical. Director Mario García Solano Ingeniero Civil, MSc. Codirector Edgar Ricardo Oviedo

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo las aguas residuales han sido descargadas a los cuerpos hídricos, esperando que su capacidad de autopurificación asuma la depuración de los desechos que se descargan a éstos. El tiempo transcurrió y estos cuerpos receptores excedieron su capacidad, por tal motivo se desarrollaron diferentes sistemas de tratamientos biológicos y fisicoquímicos con los cuales se logró la transformación de nitrógeno y materia orgánica por medio de la acción microbiana denominada metabolismo, la cual consiste en el aprovechamiento de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa [40]. Dichos microorganismos crecen de manera de suspendida o adherida y dan lugar a dos familias primordiales para el tratamiento: i) los procesos de película fija y ii) el tratamiento con biomasa suspendida [1].

Los procesos de película fija se basan en la capacidad de diferentes microorganismos para crecer en las superficies sólidas. Los microorganismos adheridos crecen, reproducen y producen sustancias poliméricas extracelulares, que con frecuencia se extienden desde la célula formando una capa gelatinosa llamada "biopelícula" [41]. Por otra parte, están los sistemas de crecimiento suspendido que comprenden microorganismos que crecen como flóculos en contacto íntimo con las aguas residuales, éstos son responsables de la eliminación de gran parte del material contaminante y comprenden una amplia gama de especies microbianas [45].

Conociendo el comportamiento microbiológico se desarrollaron tecnologías como el filtro percolador cuyo fundamento es el crecimiento de la biomasa adherida a piedras o piezas plásticas. Caso contrario es el crecimiento de microorganismos en suspensión que generó el tratamiento por medio de lodos activados presentes

en un reactor aireado [46]. Este tema ha tenido un creciente interés en los procesos de biopelícula para el tratamiento de aguas residuales con respecto a los procesos de lodos activados ya que provee una disminución en el espacio y la eliminación del reciclo en un punto dado del tren del proceso debido a la biomasa adherida que se vuelve más especializada (mayor concentración de organismos relevantes), por lo cual se permite una mayor remoción de carga orgánica.

Dichas tecnologías han sido objeto de estudio con el fin de obtener mejoras en el proceso dando lugar a alternativas como Integrated Fixed Activated Sludge (IFAS) la cual se basa en la optimización de lodos activados a las que se le añaden biosoportos para aumentar el área de crecimiento microbiano. Otra tecnología que nació de este principio fue Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) que consiste en el crecimiento de biomasa usando como medios soportes móviles distribuidos por todo el reactor.

En este documento se presenta una revisión del estado del arte de los sistemas denominados IFAS y MBBR el cual incluye una descripción de los fundamentos conceptuales de los tratamientos de lodos activados, filtro percolador y Biodisco, así como la integración con los MBBR e IFAS. Seguidamente se presenta un reporte de los parámetros de mayor influencia en estas tecnologías, obteniendo una mejoría en la remoción de nutrientes, reducción de espacio de la planta e incorporación de soportes que optimizan el tratamiento.

## 1. CONCEPTOS TEÓRICOS

La contaminación produce cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, a continuación, se presenta una recopilación de las características que se ven alteradas de forma sustancial, tomadas de Metcalf & Eddy [2].

### 1.1. QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: (1) la materia orgánica, (2) la medición del contenido orgánico, (3) la materia inorgánica, y (4) los gases presentes en el agua residual.

#### Materia Orgánica:

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos que están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y grasas y aceites (10%). Otros compuestos orgánicos con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina y los agentes tensoactivos (detergentes) [48]. Se presenta una síntesis de las principales características en el ANEXO A.

### Medida de Contenido Orgánico:

La determinación del contenido orgánico de las aguas residuales se estima de forma indirecta, mediante diversos métodos: DBO<sub>5</sub> y DQO. Éstas técnicas permiten obtener una estimación de la materia orgánica contenida en el líquido residual [2]. La descripción se presenta en el ANEXO B.

### Materia Inorgánica:

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso [48]. En el ANEXO C se definen parámetros de interés sobre la materia inorgánica presente en las aguas negras.

### Gases:

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el amoníaco (NH<sub>3</sub>), y el metano (CH<sub>4</sub>). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma [50]. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Se definen características relevantes en el ANEXO D.

## **1.2. BIOLOGÍA DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Los microorganismos presentes en el agua, representan varios niveles de importancia de acuerdo con su patogenicidad, su uso como indicadores de contaminación y su función como ejecutores del tratamiento biológico. Para el tratamiento de las aguas residuales se hace necesario el conocimiento de las características biológicas de éstas [55], además el conocimiento sobre:

- Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.
- Organismos patógenos presentes en las aguas residuales.

Se expone en el ANEXO E algunas de las definiciones importantes de la biología de las aguas residuales.

## **1.3 FILTROS PERCOLADORES**

Los filtros percoladores son reactores biológicos en los cuales la biomasa se mantiene fija en el reactor. Esta es una tecnología muy empleada para el tratamiento de aguas municipales [46] [8].

El tratamiento en los filtros percoladores consiste en pasar el agua residual desde la parte superior del filtro evitando la inundación, el agua debe pasar a través de un material de relleno sobre el cual crecerán los microorganismos y formarán una biopelícula de espesor variable, la cual se desprenderá y será arrastrada por el agua circulante haciendo necesario un posterior proceso de sedimentación para su separación [46] [12].

Cabe recalcar la importancia que relleno debe permitir un buen contacto entre el agua a tratar y el aire circulante con la biopelícula fijada sobre el mismo y al mismo tiempo. Dos de las características más importantes de los materiales de relleno empleados para los filtros percoladores son:

- La superficie específica [ $m^2/m^3$ ]: ésta mide el área expuesta del material por unidad de volumen. Esta propiedad es directamente proporcional a la capacidad de fijación de la película bacteriana, por lo cual, a mayor superficie mayor será la capacidad de tratamiento del filtro percolador [7] [8].
- Índice de hueco [%]: éste indica la proporción vacía de relleno en relación con el volumen total del mismo. Los riesgos de colmatación del material de relleno disminuyen a medida que aumenta el índice de huecos [7] [8].

Se hace necesario aclarar que los rellenos sintéticos poseen un precio elevado y resultan inadecuados para obtener rendimientos al compararlos con los que se obtienen a través de los rellenos normales (ejemplo: roca y clinkers). Las ventajas y desventajas más representativas de esta tecnología en comparación al proceso de lodos activados se presentan en la tabla 1 [7].

**Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Filtros percoladores**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren menor energía para la aireación.</li> <li>• Operación sencilla.</li> <li>• Respuesta lenta y recuperación más rápida de los cambios bruscos de <math>DBO_5</math>.</li> <li>• Son menos sensibles a la presencia de sustancias tóxicas en el afluente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de construcción y puesta en marcha de la tecnología en comparación con el proceso de lodos activados.</li> <li>• Menor rendimiento en la remoción de contaminantes.</li> <li>• Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos.</li> </ul>

**Fuente:** Cooperativa de Texas [7] y Universidad de Salamanca [8].

## 1.4 LODOS ACTIVADOS.

Esta tecnología fue creada en 1914 para el tratamiento de efluentes industriales y municipales, teniendo como principio básico el contacto de las aguas residuales con una población bacteriana mixta, en forma de suspensión de flóculos en un sistema aireado y agitado [9] [46].

En este tratamiento biológico de cultivo suspendido, bajo condiciones aerobias, el residuo se estabiliza biológicamente en el reactor durante el crecimiento y mezcla, los microorganismos flocculan formando una masa activa a la cual denominan: lodos activados. El ambiente aeróbico se obtiene con el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos [9] [46]. La tabla 2 presenta ventajas y desventajas de esta tecnología a continuación [9].

**Tabla 2. Ventajas y Desventajas de Lodos Activados.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta eficiencia en la remoción de carga orgánica en comparación con filtros percoladores.</li><li>• Los lodos generados son altamente mineralizados por lo cual no requieren de tratamiento posterior.</li><li>• Obtención de subproductos que pueden ser tratados para producir fertilizantes, mejoradores de suelo, biogás entre otros.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere mayor mantenimiento de infraestructura y equipos que los procesos convencionales.</li><li>• Depende del pH de entrada y la temperatura del efluente a tratar.</li><li>• Altos costos de operación, fundamentalmente por el requerimiento de oxígeno.</li></ul>

**Fuente:** Gobierno de Chile: Fundación Chile [9].

## **1.5 CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS (CBR) Ó BIODISCOS.**

En este proceso la biomasa se presenta en forma de crecimiento en suspensión (como es el caso de los lodos activados) y asistido (como es el caso de los filtros percoladores) [11].

Según Metcalf & Eddy, las instalaciones con base en CBR han presentado problemas a lo largo de su historia debido al inadecuado diseño mecánico y a la falta de comprensión de los procesos biológicos [11].

El proceso CBR consiste básicamente en un sedimentador primario dónde se remueven las partículas más grandes por gravedad, posteriormente pasa el agua a un reactor de contactores biológicos rotatorios basado en el crecimiento de biomasa fija y finalmente se cuenta con un sedimentador secundario para la separación de sólidos del agua. Es importante tener presente que cuando se cuenta con baja concentración de sólidos sedimentables se suele omitir el sedimentador primario, dejando todo en funcionamiento del biodisco para que este proporcione un efluente con buenas características de sedimentación [10].

La singularidad fundamental del biodisco es que éste está parcialmente sumergido al agua residual mientras los microorganismos se encuentran adheridos a la superficie de éste; es allí donde estos se empiezan a multiplicar, realizando su metabolismo y removiendo la materia orgánica soluble en el licor de mezcla durante la rotación del reactor. La rotación del sistema mantiene en suspensión a la biomasa desprendida hasta que el flujo de agua la lleva fuera del reactor para su posterior separación por sedimentación [56].

La rotación del sistema es importante porque proporciona contacto vigoroso entre la biopelícula y el agua residual, además de permitir la distribución de uniforme de

oxígeno y del sustrato soluble en la biomasa. La tabla 3, presenta ventajas y desventajas de la tecnología en estudio [10].

**Tabla 3. Ventajas y Desventajas de Biodiscos**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de energía</li> <li>• Simplicidad de operación y mantenimiento en comparación con otros tipos de tratamiento de aguas residuales.</li> <li>• El biodisco no se afecta negativamente por fluctuaciones hidráulicas, debido a su capa de microorganismos adherida.</li> <li>• No es necesario lavar el disco para eliminar el exceso de biomasa, ya que no hay acumulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La nitrificación puede causar problemas de acidez, al proceso lo que generaría una fuente alterna para controlar el pH.</li> <li>• Poca capacidad de remover fósforo debido al funcionamiento del sistema, lo que lo hace dependiente de adecuaciones en la planta que permitan la remoción de ese nutriente.</li> <li>• El costo de inversión es mayor que en los sistemas convencionales.</li> </ul>

**Fuente:** MATA AMARO, Luis Antonio [10] y Universidad de Salamanca [11].

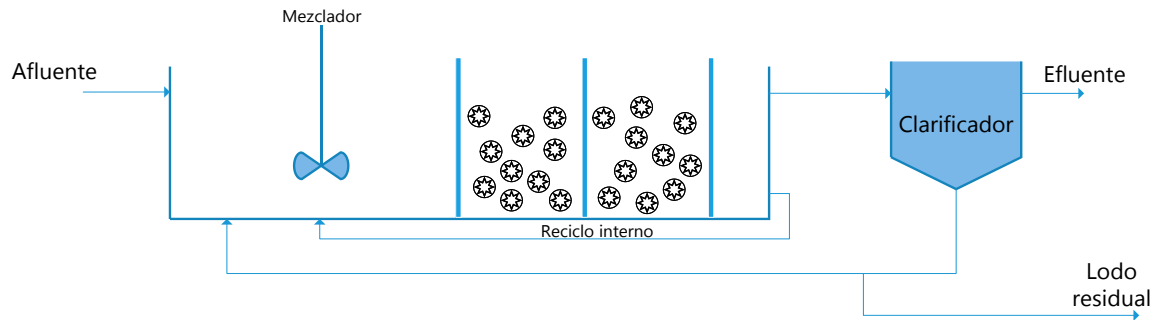
### 1.6 INTEGRATED FIXED/FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS)

La tecnología de lodos activados con película fija integrada (IFAS) se refiere a cualquier sistema de crecimiento suspendido que incorpora un medio de crecimiento unido dentro del reactor. Esta tecnología facilita la creación de biomasa adicional dentro de la instalación de tratamiento para cumplir con estándares más estrictos de efluentes o mayor volumen de carga, sin incrementar ni añadir capacidad de tanques [3] [49].

Su principio de trabajo es similar al del proceso de lodos activados, la diferencia radica en que la biomasa está adherida al soporte por lo cual hace presencia en las zonas aerobias, anaeróbicas y anóxicas. Por otra parte, el tiempo de retención

de los lodos también aumenta promoviendo así una mejor nitrificación en comparación con sistemas de crecimiento suspendido simple [3] [49].

**Figura 1. Configuración de Proceso IFAS Fuente: [14].**



Los sistemas IFAS, cuando están diseñados y operados correctamente, son resistentes a las cargas orgánicas e hidráulicas, a parte el sistema también mejora la nitrificación [3]. En la tabla 4 se citan las ventajas y desventajas más significativas de esta tecnología.

**Tabla 4. Ventajas y Desventajas de proceso IFAS**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biomasa fija aumenta los tiempos de retención celular y promueve una mejor nitrificación en comparación con los sistemas de crecimiento suspendidos simples.</li> <li>• La tecnología presenta una estabilidad de proceso mejorada y un índice de volumen de lodo, así como una producción de lodos reducida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los sistemas tienen grandes requerimientos energéticos en comparación con el sistema de lodos activados.</li> <li>• La falta de disponibilidad de piezas mecánicas a nivel local puede plantear un problema.</li> <li>• Se requiere experiencia especializada para construir y operar el sistema; lo que puede dificultar su implementación en países en desarrollo.</li> </ul>

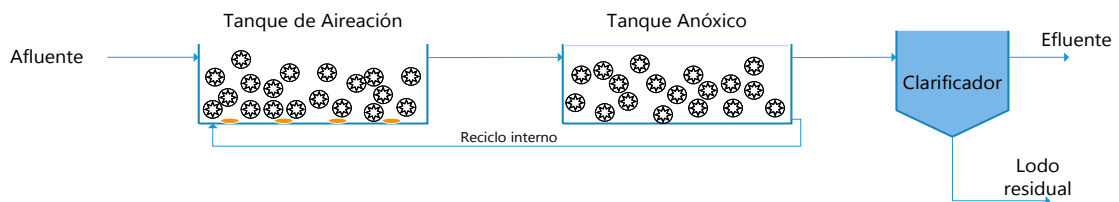
**Fuente:** Wastewater Innovations [3].

## 1.7 MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR)

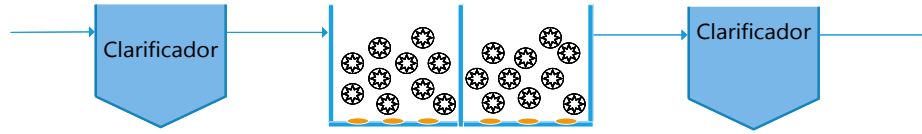
Esta tecnología fue creada teniendo presente lo mejor de los lodos activados y del proceso de biofiltros; pero contrario a la gran mayoría de reactores de biopelícula, el MBBR emplea en su totalidad el volumen del tanque para el crecimiento de la biomasa y no necesita recirculación de lodos como es el caso de otros procesos. Esto se logra haciendo que la biomasa crezca sobre un portador que se mueve libremente en el reactor. Puesto que se da lugar a ninguna recirculación de lodos, solo el excedente de biomasa tiene que separarse, una ventaja considerable sobre el proceso de lodos activados. El reactor puede utilizarse para procesos tanto aeróbicos como anóxicos [4] [51].

El agua residual es ingresada a una zona aeróbica en dónde los portadores se mantienen en movimiento por la inyección de aire en la parte inferior del reactor, después pasa a una segunda etapa atravesando unas rejillas como mecanismo de retención de soportes; en ésta etapa anóxica se usa un agitador con el fin de mantener los soportes y biomasa suspendida en constante movimiento, por último, el agua desemboca en un clarificador que separa el agua y los lodos para su posterior tratamiento [4] [51]. Se ilustran diferentes configuraciones del tratamiento.

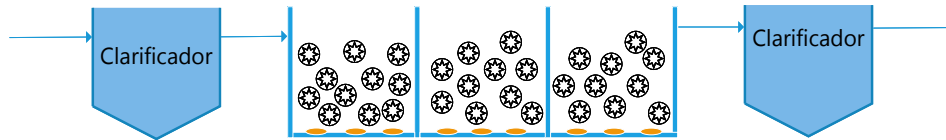
**Figura 2. Proceso MBBR. [21].**



**Figura 3. Configuración MBBR para la remoción de DBO y DQO. [57].**



**Figura 4. Configuración MBBR para promover la nitrificación. Fuente: [57].**



La tabla 5 menciona las ventajas y desventajas más importantes del sistema MBBR.

**Tabla 5. Ventajas y Desventajas de proceso MBBR**

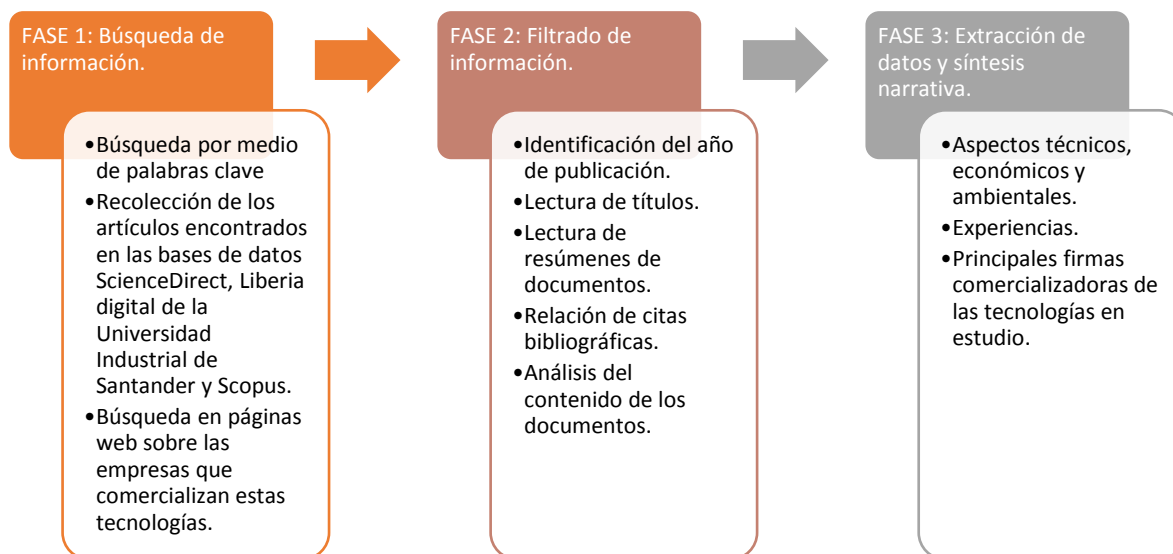
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La planta de tratamiento requiriere menos espacio en comparación con los filtros percoladores.</li> <li>• El riesgo de obstrucción de MBBR es mucho menor que con los reactores de biopelícula fija.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de construcción y de los materiales de soportes.</li> <li>• La falta de disponibilidad de piezas mecánicas a nivel local puede plantear un problema.</li> </ul>

**Fuente:** IGARASHI, T et al [4].

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El proyecto se desarrolló en tres fases logrando agrupar 10417 documentos que se redujeron a 14, estableciendo criterios para filtrar. Estos 14 artículos fueron empleados para la elaboración de la revisión sistemática de literatura. En la figura 3 se representa la metodología empleada la elaboración del documento.

**Figura 5. Fases de la metodología**



### 2.1 FASE 1: BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Las revisiones sistemáticas de literatura son una componente fundamental del método científico dado que tienen como fin resumir, compilar, criticar y sintetizar la investigación existente sobre un área temática [13], por ende, ésta fue la herramienta seleccionada en el presente estudio para documentar el tratamiento biológico de IFAS, MBBR y la implementación de las tecnologías en otros países.

El proceso se realizó mediante el uso de palabras clave [13] como: “Domestic wastewater treatment”, “Treatment of wastewater IFAS AND MBBR”, “IFAS AND MBBR”, “Biofilm IFAS AND MBBR”, “Carries IFAS AND MBBR”. Las bases de datos que se seleccionaron para llevar a cabo la búsqueda fueron: ScienceDirect, Liberia digital de la Universidad Industrial de Santander, Scopus y en páginas web de las prestigiosas firmas que comercializan la tecnología.

Como mecanismo que permita comprender la situación actual del estudio y con el fin de delimitar información, se centró la búsqueda en artículos, estudios, documentos e investigaciones en la última década, que comprenden específicamente los años 2007 y 2017.

## **2.2 FASE 2: FILTRADO DE DOCUMENTOS**

Una vez finalizada la búsqueda de documentos descrita en la fase anterior, se obtuvieron 1332 documentos, lo cual hizo necesario una medida para la inclusión y exclusión [14] de algunos de ellos en los cuales su información no fuese tan relevante. Para tal efecto, se realizó una “**matriz de información**” la cual permitió introducir parámetros de incorporación y omisión. Los criterios usados para el filtrado de documentos fueron:

- **Identificación de año de publicación**

Demarcación de documentos procedentes de la Fase 1 que se encuentran dentro del rango estipulado entre el año 2007 y 2017 y exclusión de los que no se encuentren en este margen. Sin embargo, no se descarta documentos que no se encuentren dentro del rango de la fecha estipulada siempre y cuando estos contengan información detallada con un gran número de citas. Como resultado de este filtro se obtuvo 428 artículos.

- **Lectura de títulos**

La lectura de los títulos de los artículos, permitió la exclusión de textos que se desviaban del tema de interés y facilitó, el proceso de omitir la duplicidad de documentación obtenida de las diferentes bases de datos, de ésta manera se obtuvieron 54 artículos.

- **Lectura de resúmenes de documentos**

El presente criterio permitió definir los parámetros importantes dentro de los artículos seleccionados que tuvieran relación directa con el tema de interés de la investigación, de ésta manera se obtuvo una base de 30 documentos.

- **Relación de citas bibliográficas de documentos ya filtrados**

Teniendo documentos con fundamentos sólidos que están estrechamente ligados con la investigación, se procedió a consultar el número de citas de cada uno de los artículos obtenidos en la lectura de los resúmenes, dando como resultado 24 artículos.

- **Análisis del contenido de los documentos**

Mediante la lectura completa de los 14 documentos principales, fue posible incluir o excluir textos que se relacionaban o no con el tema de investigación.

### **2.3 FASE 3: EXTRACCIÓN DE DATOS Y SÍNTESIS NARRATIVA**

Finalmente, por medio del filtrado se logró obtener una importante suma de información vinculada con el tema de interés. Se procedió a realizar un análisis del

contenido presente en cada documento para identificar y destacar aspectos relevantes mediante los siguientes criterios: temas en común de cada documento, diferencias entre estudios realizados, conocimiento científico y enfoque de cada autor, conclusiones en común y contrarias, y finalmente frecuencia con que se hacía alusión a la información.

Se identificaron los aspectos de mayor relevancia de éstas tecnologías, dando como resultado parámetros técnicos, ambientales y económicos, también primó las firmas comercializadoras de las tecnologías y las experiencias que se han obtenido en la implementación de éstas.

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1. SÍNTESIS DE LOS ARTÍCULOS INVESTIGADOS

En este segmento se consideran los aspectos técnicos y ambientales más relevantes con el fin de analizar el impacto que éstos puedan generar al medio, también avances en materia de tecnología que contribuyan significativamente con la optimización y mejora de los efluentes, el aspecto económico es importante para implementar procesos eficaces y que requieran menor cantidad de inversión. Generar tecnologías de costos bajos es un atractivo para que países en desarrollo accedan a promover una mejora en la calidad de vida para sus habitantes y de la misma manera disminuir los índices de contaminación que se poseen actualmente.

A continuación, se presentan las tablas 6,7, y 8 con el propósito de analizar los estudios realizados alrededor de las tecnologías IFAS y MBBR, se realizó una búsqueda de los parámetros del proceso y variables económicas, que permitan determinar los aspectos críticos del funcionamiento del sistema y la posibilidad de su implementación en el contexto de países en desarrollo.

**Tabla 6. Aspectos Económicos procesos IFAS y MBBR**

<b>Aspectos Económicos</b>				
	<b>IFAS</b>		<b>MBBR</b>	
<b>Autor</b>	<b>Simcoe Engineering grupo limited [18]</b>	<b>Hazen [23]</b>	<b>Hazen [23]</b>	<b>Abhishe [21]</b>
Costos de capital [MMUSD]	14.1	188.025	180.372	5.29
Costos de Operación y mantenimiento	1.14	0.263	0.263	14.96

<b>Aspectos Económicos</b>				
	<b>IFAS</b>		<b>MBBR</b>	
<b>Autor</b>	<b>Simcoe Engineering grupo limited [18]</b>	<b>Hazen [23]</b>	<b>Hazen [23]</b>	<b>Abhishe [21]</b>
[MMUSD/año]				
Capacidad [m <sup>3</sup> /s]	ND*	4.38	ND	0.0016
Costo de la Tierra	ND	ND	ND	19.2
Costo de la energía anual	ND	ND	ND	0.038
Ciclo de vida [años]	20	ND	ND	30

\*No presenta Datos (ND), Millones de dólares (MMUSD)

**Tabla 7. Aspectos técnicos sobre procesos IFAS.**

Aspectos Técnicos IFAS								
Autor	Heaworksbio [17]	Malovanny et al.[16]	Ahmad [19]	Lackener et al. [20]	Chunkai et al. [27]	Sriwiryaray et al. [28]	Kaderet al. [22]	Rutt et al. [24]
Temperatura [°C]	15	> 20	26.5-34.4	ND	20	ND	ND	15.83-20.63
OD [mg/L]	9	7.53	7	ND	8.8-9	ND	ND	ND
NT [% de remoción]	ND	ND	88	61.77	ND	75	97.22	ND
Área superficial del soporte [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	500	ND	ND	ND	500	ND	500	500
PT [% de remoción]	ND*	70	50	ND	ND	70.5	ND	ND
DBO [% de remoción]	ND	ND	91	79.32	ND	ND	97.92	ND
DQO [% de remoción]	ND	ND	92	ND	65.8	94.8	ND	ND
TRH [h]	3.2	6.9	6.9	ND	96	13	4.45	ND
pH	ND	ND	7	ND	7.3	ND	ND	ND
SST [% de remoción]	ND	ND	90	90	ND	ND	97.14	ND

\*No presenta Datos (ND), NT (Nitrógeno total), TP (Remoción de fósforo), DBO (Demanda biológica de oxígeno), DQO (Demanda química de oxígeno), HRT (Tiempo de retención hidráulico), MLSS (Sólidos en suspensión del licor mezclado). SRT (Tiempo de retención de sólidos), SST (Sólidos suspendidos totales), OD (Oxígeno Disuelto).

**Tabla 8. Aspectos técnicos sobre procesos MBBR**

Aspectos Técnicos MBBR								
Autor	Gustavsson et al. [26]	Lackner et al. [20]	Chunkai et al. [27]	Young et al. [29]	Canziani et al.[30]	Gu et al.[31]	Abhishe et al.[21]	Zafarzadeh et al.[25]
Temperatura [°C]	30-35	20	35	20	30-37	30	ND	28.5
OD [mg/L]	7.53	ND	7.05	ND	ND	7.04	7.13	7.78
NT [% de remoción]	95	90	ND	ND	ND	ND	97.70	98.23
Área superficial del soporte [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	800	500	500	800	500	500	800	500
PT [% de remoción]	ND	33.33	ND	ND	ND	ND	98.42	ND
Tecnología empleada para la nitrificación/desnitrificación	ANITAMox	ANAMMOX	ND	ND	ND	ND	ANITAMox	ND
DQO [% de remoción]	ND	62.3	67.8	ND	ND	89	ND	99
TRH [h]	24	5	96	1.5	ND	20	4.45	20
pH	7.5-8.0	7.0	7.3	6.98	7.8-8.2	ND	ND	7-8
Volumen del reactor [m <sup>3</sup> ]	0.200	0.600	ND	0.223	0.54	ND	ND	ND
Porcentaje de llenado con soportes [%]	ND*	ND	60	22-60	37.5	50	ND	ND
Demanda de energía [kWh]	1.05-1.75	1.86	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*No presenta Datos (ND), NT (Nitrógeno total), TP (Remoción de fosforo), DBO (Demanda biológica de oxígeno), DQO (Demanda química de oxígeno), HRT (Tiempo de retención hidráulico), MLSS (Sólidos en suspensión del licor mezclado). SRT (Tiempo de retención de solidos), SST (Sólidos suspendidos totales), OD (Oxígeno Disuelto).

**3.1.1. Temperatura** Con respecto a la tecnología IFAS, la temperatura es un parámetro fundamental debido a que variables como el oxígeno disuelto, pH, y el proceso de nitrificación/desnitrificación dependen del rango al que ésta se opere [32]. De acuerdo con la tabla 7 se observa que la temperatura de operación para IFAS está entre 15 y 35 °C, no obstante, según Canziani [30], el rango máximo de temperatura fue de 37°C para permitir un óptimo crecimiento de las bacterias oxidantes de amonio (AOB).

Para el proceso IFAS y MBBR al tratar al oxígeno disuelto se observó que a mayor temperatura menor es la cantidad de éste, y ello tiene relación con lo propuesto por Bain [32], el cual afirma que las aguas cálidas son capaces de disolver una menor cantidad de oxígeno. Además, fue posible constatar que los niveles de OD están dentro del rango propuesto por Bain [32] (12-5 mg/L) para considerar la calidad del agua como buena y/o aceptable para ser depurada en ecosistemas sin que estos se vean afectados [32].

Para el proceso MBBR, es posible observar en la tabla 8 que a 20°C el porcentaje de remoción de DQO es de 67.8% y cuando la temperatura es de 28.5°C la remoción de DQO alcanza un valor de 99%; por el contrario para Chankai, et al [27] y para Gu et al [31], cuando se presentan temperaturas de 30°C y 35°C se observa un decremento en el porcentaje de remoción de DQO de 89% y 67.8% respectivamente, por lo cual se puede analizar que existe un valor máximo para obtener una mayor remoción de DQO en función de la temperatura.

**3.1.2. Remoción Total De Nitrógeno Y Área Superficial Del Soporte** Una instalación eficaz de tratamiento de aguas residuales es una premisa esencial para garantizar un medio ambiente limpio. Uno de los principales pasos del proceso en una planta de tratamiento de aguas residuales implica la degradación de la materia orgánica por medio de microorganismos que necesitan oxígeno para sobrevivir, éste es más comúnmente insertado por inyección de aire [35].

El proceso MBBR al constar con superficies sólidas suspendidas en el reactor, promueven el crecimiento de la biomasa que conllevan a un aumento en el tiempo de residencia celular lo que permite la mejora en la calidad del agua. Como se analizó en la tabla 8 las áreas superficiales de los soportes más empleadas según ésta investigación fueron de 500 y 800 [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ], siendo la última la más recomendada debido a que permite una alta densidad de población por ser su área específica mayor, lo que facilita el proceso de nitrificación/desnitrificación, y ello lo constata Abhishek [21], en dónde se obtuvo una remoción de nitrógeno del 97.70% con área superficial de 800  $\text{m}^2/\text{m}^3$  y para Lackner et al [20], se obtuvo una remoción de nitrógeno del 90% con área superficial de 500  $\text{m}^2/\text{m}^3$ . No obstante, se analizó que en artículos en los cuales se experimentó con la tecnología IFAS, el área superficial empleada fue de 500 [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ] esto impide discernir su eficiencia con otro tipo de soportes [35].

**3.1.3. pH** El pH es otro de los para las tecnologías IFAS y MBBR, ésta variable debe estar en un rango entre 5 y 9 para no causar daño sobre las especies presentes en las aguas según lo afirmado por Espigares [33]. Aunque las aguas residuales domesticas generalmente poseen un pH próximo al neutro y se trata de mantener este valor a la entrada del proceso [32].

Se debe tener precaución durante la nitratación de amonio (que se desarrolla durante el proceso de nitrificación/desnitrificación) ya que se liberan iones hidrógeno  $[\text{H}]^+$  lo cual genera problemas de acidez al agua en tratamiento, ocasionando una variación del pH, lo que conlleva a un control de este parámetro para que éste dentro de los rangos sugeridos por Espigares [33].

**3.1.4. TRH Y DQO** La DQO es un parámetro que mide la materia orgánica total presente en las aguas residuales y el tiempo de retención hidráulico es el tiempo que permanece las aguas residuales en el sistema. Estos dos parámetros poseen una relación directamente proporcional en la tecnología IFAS y ello se evidenció

en la tabla 7. Para Sriwiryarat [28], al evaluar el TRH en 13 h de operación, se logró un porcentaje de remoción de DQO promedio de 94.8%. Mientras que para Malovanyy [16], el TRH con 6.9 h tuvo una remoción de DQO promedio de 92%. Finalmente, para Chunkai [27], que trabajó con TRH de 96 h se obtuvo una remoción de 65.8%, resultado que contrasta con los representados por Malovanyy [16] y Sriwiryarat [28]. Se recomienda estudiar el comportamiento del TRH que para periodos mayores y menores a 96 h.

Por otro lado, para MBBR se observa en los estudios realizados por Chunkai [27] que al presentarse un TRH de 5 h el porcentaje de remoción de DQO es de 62.3%, según Lackner et al [20] y el TRH cuando es de 20 h logra una remoción cercana al 90%, lo que resalta lo analizado en el proceso IFAS, en el cual se percibía que la relación entre TRH y DQO es directamente proporcional, a excepción de Chunkai [27], en el cual cuando se tiene un TRH de 96 h, el porcentaje de remoción de DQO es de 67.8%; lo que difiere nuevamente de los datos anteriormente mencionados. Por lo cual se insta a investigar a menor y mayor TRH de 96 h para analizar su comportamiento y obtener conclusiones al respecto.

Determinar un tiempo adecuado de retención hidráulico para estas tecnologías es un factor importante debido a permitirá obtener porcentajes de remoción elevados y de esta forma determinar el volumen de reactor necesario, para la efectividad del proceso a costos de inversión adecuados al contexto.

**3.1.5. Sólidos Suspendidos Totales.** Este parámetro describe las partículas en suspensión presentes en el agua residual en donde la remoción ocurre parcialmente mediante tratamientos físicos y de forma biológica, por lo cual, el estudio de éste parámetro es inherente para el análisis de las tecnologías investigadas, aunque cabe resaltar que es un parámetro importante.

Para procesos IFAS, según lo argumentado por Lackner, et al [20] y Kader, et al [22] en sus estudios, el incremento o disminución de SST se debe a diversos factores como choque orgánico, la actividad del lodo y las condiciones locales a las cuales se encuentre, Por otra parte, para MBBR no se reportaron datos de SST por ende no se realiza una comparación del comportamiento de este factor en la tecnología.

**3.1.6. Remoción De Fósforo y Nitrificación/Desnitrificación,** De manera general para IFAS y MBBR en el soporte plástico se promueve la nitrificación en la biopelícula, mientras que la desnitrificación y eliminación de fósforo ocurre en la biomasa en suspensión. La remoción de fósforo basa su funcionamiento en la actividad metabólica de microorganismos llamados poly-P, los cuales son capaces de capturar y almacenar fósforo en forma de polifosfatos bajo condiciones aerobias y liberarlos bajo condiciones anaerobias. La liberación de fósforo produce energía que es utilizada para capturar y almacenar sustratos orgánicos en forma de poli- $\beta$ -hidroxibutirato (PHB). Los sustratos orgánicos previamente almacenados son metabolizados en la fase aerobia dónde simultáneamente se captura y almacenan fósforo intracelularmente [36].

Para tratamientos IFAS se obtienen porcentajes de remoción de fósforo elevado debido a la presencia de microorganismos anaerobios que metabolizan dicho nutriente. Caso contrario le ocurre a Lackner [20] que mediante una configuración MBBR y un proceso de nitrificación Annamox logra una remoción de 33.33% debido a la ausencia de una zona anaerobia, mientras que Abhishek [21], logra obtener una remoción del 98.42% lo cual es favorecida por el proceso Anitamox que posee una configuración MBBR con IFAS.

**3.1.7. Aspectos Económicos y Ambientales** Con respecto a los datos tabulados en la tabla 6 no se puede conjeturar algo porque se cuenta con muy poca información; por lo que se puede entrever que existe poca investigación que este

guiada a conocer el costo de la implementación de las tecnologías IFAS y MBBR; no obstante para esta última según Hazen [23] afirma que su costo es muy similar al de lodos activas y que puede llegar a ser solo 15% más costo; debido a que usan un medio de soporte diferente y no recirculan los lodos activados.

Cabe destacar que para el análisis de los aspectos ambientales la información está muy limitada, y esa falta de información no permite estimar si es ambientalmente factible la tecnología. Parámetros como emisión de malos olores y producción de CO<sub>2</sub> deben ser considerados en siguientes estudios de las tecnologías.

### **3.2 EXPERIENCIAS DE LAS TECNOLOGÍAS IFAS Y MBBR**

**3.2.1 Experiencia MBBR** El tratamiento biológico de aguas residuales en climas fríos puede ser un desafío debido a las bajas tasas de reacción, sin embargo, la alternativa de calentar grandes flujos de aguas residuales da lugar a costos de operación significativos. El uso de una biomasa fija en lugar de una biomasa suspendida permite que el proceso se opere a una temperatura mucho más baja ya que la edad de los lodos ya no es un parámetro de diseño. El MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) es un ejemplo preferido de dicho proceso de película fija (o "crecimiento unido"). La biomasa se desarrolla sobre la superficie interna de un soporte que está en movimiento continuo en el reactor. [38]

En el artículo se llevaron a cabo amplios ensayos de laboratorio utilizando el proceso MBBR, que demostraron que la remoción de nitrógeno a largo plazo puede mantenerse hasta 4 ° C [38].

En el proceso se obtuvo una concentración de nitrógeno lo que nos permite deducir que el proceso MBBR es efectivo incluso en bajos valores de temperatura

**3.2.2 Experiencia IFAS** El siguiente es una experiencia con una planta piloto del proceso IFAS (integrated fixed-film activated sludge) en la cual fue puesta en funcionamiento para comprender y atender todos los retos y problemas asociados con la puesta en marcha. Después de alcanzar la biomasa en suspensión deseada (2,000-3,000 mg / L) y la edad de los lodos (similar a 7 días), el porcentaje de remoción la demanda media biológica de oxígeno (DBO) y el porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) obtenida fue de 77.3% y 70.9%, respectivamente, en condiciones optimizadas, es decir, tiempo de retención hidráulico (HRT), 6.9 h. Las concentraciones del afluente de DQO, DBO, sólidos suspendidos totales, NH<sub>3</sub>-N, el nitrógeno total y fósforo total se encontraron en un rango de 157 a 476 mg / L, 115 a 283 mg / L, 152 a 428 mg / L, 23,2 a 49,3 mg / L, 30,1 a 52 mg / L y 3.6 a 7.8 mg / L, respectivamente, y las concentraciones mínimas de fueron 49 mg / L, 23 mg / L, 35 mg / L, 2,2 mg / L , 3,4 mg / L y 2,8 mg / L, respectivamente, en el estado óptimo. Un hallazgo importante fue la eficaz eliminación de bacterias patógenas como (*Escherichia coli*, 79%; *Salmonella spp.*, 97,5%; *Shigella spp*, 92,9%), sin ninguna unidad de desinfección. Además, se observó que el tiempo necesario para la estabilización de la planta fue de aproximadamente 3 semanas sí los otros parámetros (edad de los lodos, la TRH y oxígeno disuelto) se establecían en valores óptimos [39].

**3.2.3 Experiencia a escala real.** La estación depuradora de aguas residuales ubicada en Asturias, España, encargada del tratamiento de las aguas residuales urbanas en esta ciudad invierte más de 11 Millones de euros en la construcción de la planta que cuenta con tecnologías modernas y avanzadas del mercado para la depuración de aguas residuales. La instalación inaugurada en noviembre de año 2013 tiene una capacidad tratamiento de 50.000 m<sup>3</sup>/día y ha sido diseñada con el proceso BAS<sup>TM</sup> (combina los procesos IFAS y MBBR) Anoxkaldnes de la empresa Veolia, el proceso de lecho móvil se caracteriza por emplear unos soportes plásticos diseñados para favorecer el crecimiento de mayor cantidad de biomasa y

de mayor efectividad, lo que dota al proceso de una gran robustez y permite obtener un efluente que cumple con la normatividad exigida.

Para el tratamiento del agua bruta, ésta se lleva a cabo en varias etapas, en primer lugar, el agua procedente del tratamiento primario es sometida a un cambio de temperatura que alcanza los 38°C, temperatura necesaria para la depuración biológica en condiciones óptimas. A continuación, se pasa a la depuración biológica de las aguas residuales mediante el proceso BAS™ AnoxKaldnes, luego se combina una primera etapa, que se realiza mediante el proceso de lecho móvil (MBBR) AnoxKaldnes™ Moving Bed, seguido de un proceso convencional de fangos activos.

Después de lo anterior se pasa a la etapa biológica mediante AnoxKaldnes™ Moving Bed la cual está diseñada para eliminar los compuestos más fácilmente biodegradables, consiguiendo reducir la DBO de llegada entre un 50 y un 70%, proporcionando una gran estabilidad y aumentando el rendimiento de la etapa de fangos activos. Este proceso permite reducir el espacio de implantación hasta un 50% respecto a los procesos convencionales, además es muy fácil de operar.

Una vez realizada la depuración biológica, el agua pasa a la decantación secundaria donde se realiza la separación de agua y fango. Este fango presenta unas características de sedimentabilidad muy buenas y tiene menor riesgo de bulking filamentoso que los fangos activos, por lo que ésta etapa se realiza mediante una decantación secundaria convencional.

Por último, los fangos de la decantación primaria junto con los fangos biológicos se mezclan y son deshidratados para alcanzar un alto porcentaje de sequedad, para su valorización energética en la caldera de biomasa lo que permite una máxima utilización de los recursos. Además, la instalación de deshidratación de

fangos cuenta con un proceso biológico para la eliminación de olores. Finalmente, el agua una vez decantada es conducida a los cuerpos hídricos.



En síntesis, de éstas experiencias se puede concluir que se ha ahondado tanto en estas tecnologías que en la actualidad se ha podido implementar a escala real, obteniéndose grandes beneficios en el tratamiento de aguas residuales, tales como; mayor remoción de materia orgánica, mayores tiempos de retención celular que permiten que la biomasa resida más tiempo dentro del reactor obteniéndose grandes resultados con respecto a la remoción de nutrientes.

### **3.3 FIRMAS COMERCIALIZADORAS**

Uno de los principales parámetros de la tecnología es la forma y el material de los soportes; actualmente el más empleado es el polietileno de alta densidad (HDPE) el cual posee una densidad similar a la del agua, esto con el fin de lograr mantenerlos en suspensión y circulación constante por medio de aireación o agitación mecánica; está destinada a proporcionar y abarcar una gran superficie para que el microorganismo se establezca formando la biopelícula y así aumentar la concentración de microorganismo dentro del biorreactor.

Existen diferentes proveedores de soportes de alto prestigio internacional (HEADWORKS, ANOXKALDNES, BIOFIL) los cuales diseñan y los fabrican. Cada fabricante está en la capacidad de modificar las características con el fin de obtener mejorías en los procesos y así obtener un alto impacto en el mercado. Las tres empresas que dominan el mercado actualmente se presentan a continuación.




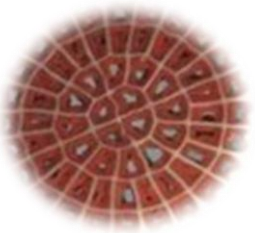
**Tabla 9. Firmas Comercializadoras**

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	LOGO
<p>BIO - FIL BIOLOGÍA Y FILTRACIÓN S.L.</p>	<p>Su experiencia inicia en 1986, desarrollando en compañía de Universidades diversos productos de relleno plástico BioFiLL, lo más avanzado del mercado para procesos de tratamientos de aguas residuales, torres de intercambio, filtros biológicos de aire.</p>	
<p>HEADWORKS INTERNATIONAL</p>	<p>Es una de las más antiguas proveedoras independientes de MBBR / IFAS en el sector biológico con aproximadamente 15 años de experiencia en aplicaciones municipales, industriales y marítimas. El equipo de expertos en diseño de procesos de Headworks BIO aplica tecnologías probadas para el tratamiento de aguas residuales, con efluentes de descarga que cumplen con los nuevos valores estrictos de DBO, nitrificación y nitrógeno total.</p>	
<p>VEOLIA</p>	<p>Compañía del agua de 2016, ofrece la más avanzada tecnología para el tratamiento de aguas, brindando soluciones eficientes y sostenibles. Cuenta con más de 100 años de experiencia, siendo el líder mundial en la implementación de estrategias para las industrias y los municipios.</p>	

Fuente: VEOLIA [52], Bio-Fil [53] y Headworks [54]



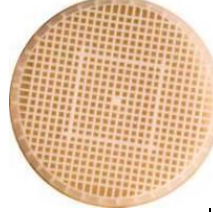

A continuación, se presentan los soportes más representativos de las 3 firmas de proveedores mencionadas actualmente, acompañado del parámetro de diseño más importante que es el área superficial donde crecerá la biomasa adherida.

**Tabla 10. Diferentes tipos de Soportes de Veolia**

VEOLIA			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• K1</li> </ul> $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• K3</li> </ul> $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F3</li> </ul> $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• k5</li> </ul> $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 

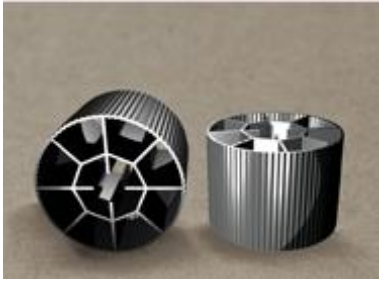


Fuente: Veolia [52]

**Tabla 11. Diferentes tipos de Soportes de BioFill.**

BIOFILL			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• BioFill Tipo A</li> </ul> $160 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BioFill Tipo B</li> </ul> $115 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BiofilmChip™ Pure</li> </ul> $1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BiofilmChip™ M</li> </ul> $1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 

Fuente: Bio-Fill [53]

**Tabla 12. Diferentes tipos de Soportes de Headworks**

HEADWORKS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• AC 450 40 <math>m^2/m^3</math></li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AC 920 680 <math>m^2/m^3</math></li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AC 515 485 <math>m^2/m^3</math></li> </ul> 

Fuente: Headworks [54]

#### 4. CONCLUSIONES

Las tecnologías IFAS y MBBR presentan una mayor remoción de nitrógeno y fósforo, a diferencia de los tratamientos de lodos activados (52.3% de nitrógeno, 57.7% de fosforo [42]) , filtros percoladores (50% de nitrógeno, 8% de fosforo [43]), y biodiscos (74% de nitrógeno, 64% de fosforo [44]) , esto gracias al uso que hacen de los biosoportes, los cuales generan una mayor superficie de contacto, y un mayor tiempo de retención celular (por lo tanto se aumenta la proporción de microorganismos encargados de la eliminación de fósforo y nitrógeno ya que poseen bajas tasas de reproducción). es importante recalcar que en el soporte plástico móvil se promueve la nitrificación en biopelícula, mientras que la desnitrificación para la eliminación de nitrógeno y eliminación de fósforo ocurre en la biomasa en suspensión dónde los sustratos orgánicos son metabolizados en la fase aerobia dónde simultáneamente se captura y almacena fósforo intracelularmente obteniendo porcentajes de remoción elevados para procesos IFAS, caso contrario ocurre en procesos MBBR que se hace necesario una configuración acompañada de IFAS para garantizar la zona anaerobia y obtener beneficios en la remoción de nutrientes, como es el caso del fósforo.

La implementación de las tecnologías IFAS y MBBR genera a las plantas una reducción del área de instalación, esto a razón de la adicción de soportes que proporcionan un "hogar" más estable para que las bacterias crezcan, por lo que se requiere menos espacio en comparación con otros sistemas biológicos logrando reducir el espacio hasta un 50%.

Dada la gran cantidad de información, se observa que se han estudiado a profundidad múltiples variables (microbiología, eficiencia en la aireación, optimización de instalaciones existentes en forma exitosa, aspectos económicos,

etc) que comprueban que esta nueva tecnología ha alcanzado un alto grado de madurez.

## 5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la utilización de soportes que puedan ser producidos localmente incluyendo propuestas de reciclaje de materiales que permitan solucionar dos problemas simultáneamente.
- Debido a que Colombia solo trata el 10% de las aguas residuales municipales se propone profundizar en los aspectos económicos y ambientes referentes a las tecnologías IFAS y MBBR (en combinación con tecnología UASB que incluya los elementos portantes de biopelícula), para con base en ellos lograr un buen paso para la descontaminación de nuestros altamente contaminados cuerpos de agua.
- El rango óptimo de área superficial que deben presentar los soportes para favorecer el crecimiento de los microorganismos manipulando parámetros como el diseño y tipo de material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. MARA Duncan, HORAN Nigel. Handbook of Water and Wastewater Microbiology. London. 2003. 317-319 p. (British Library Cataloguing) ISBN 0-12-470100-0.
- [2]. METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra Edición. España: Antonio García Brage, 1998. pp 53.
- [3]. WASTEWATER INNOVATIONS. MAKING SANITATION A SUSTAINABLE BUSINESS. Technology: Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS). [en línea]. <<http://wastewaterinfo.asia/sites/default/files/tech-sheets/integrated-fixed-film-activated-sludge.pdf>> [Citado el 20 de Enero de 2017].
- [4]. IGARASHI,T., WATANABE,Y., ASANO,T. and TAMBO, N. : Water Environmental Engineering and Reuse of Water, Hokkaido Press 1999. pp 250-305.
- [5]. PIPELINE. Explaining the Activated Sludge Process. [en línea]. <[http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL\\_SP03.pdf](http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL_SP03.pdf)> [Citado el 20 de Enero de 2017].
- [6]. CAMARGO RODRÍGUEZ, María Pía. Efecto de la aireación sobre la remoción de materia orgánica y nitrógeno en biorreactores de lecho móvil. Ciudad de México, 2011, 48 h. Trabajo de grado (Maestro en Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

- [7]. COOPERATIVA DE TEXAS. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras: Filtro percolador. [en línea]. <[https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Trickling-Filter-S.pdf](https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Trickling-Filter-S.pdf)> [Citado el 20 de Enero de 2017].
- [8]. UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Filtros percoladores. [en línea]. <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>> [citado el 18 de enero de 2017].
- [9]. GOBIERNO DE CHILE: FUNDACIONCHILE. Tecnología de Lodos Activados. [en línea]. <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)> [citado el 18 de enero de 2017].
- [10]. MATA AMARO, Luis Antonio. EMPLEO DE BIODISCOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN UN EDIFICIO DE CIUDAD UNIVERSITARIA. Ciudad de México, 2012, 21 h. Trabajo de grado (Maestro en Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- [11]. UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Biodiscos. [en línea]. <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/BIODISCOS.PDF>> [citado el 18 de enero de 2017].
- [12]. UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Filtros Percoladores. [en línea]. <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>> [citado el 18 de enero de 2017].
- [13]. VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de la Literatura Parte 1. En: Revista Dyna. No 81 (Oct., 2014), pp. 9-10. ISSN 2346-2183

- [14]. RANDOLPH, Justus. A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. En: A peer-reviewed electronic journal. No 12 (Jun., 2009), pp. 1-13. ISSN 1531-7714.
- [15]. VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de la Literatura Parte 3. En: Revista Dyna. No 81 (Feb., 2014), pp. 9-12. ISSN 2346-2183.
- [16]. MALOVANYY, Andriy; TRELA, Jozef; PLAZA, Elzbieta. En: Mainstream wastewater treatment in integrated fixed film activated sludge (IFAS) reactor by partial nitrification/anammox process [base de datos en línea]. (septiembre, 2015); p-p. 478-487. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect.
- [17]. HEADWORKSBIO. Active cell MBBR/IFAS wastewater treatment. [en línea]. <<http://www.headworksinternational.com/userfiles/file/HW%20BIO%20Literature/ActiveCell%20Brochure%20WEB%20LTR.pdf>> [Citado el 16 de Enero de 2017].
- [18]. SIMCOE ENGINEERING GROUP LIMITED. Technical Memorandum No.3: Evaluation of Short Listed Secondary Treatment Process Options. En: City of Brockville WPCU upgrade class EA [En línea]. (2016). Disponible en: <<http://www.brockville.com/UploadedFiles/earappd.pdf>> [citado en 16 de Enero de 2017].
- [19]. AHMAD KAZMI, Absar; SINGH, Nitin Kumar En: Environmental performance and microbial investigation of a single stage aerobic integrated fixed-film activated sludge (IFAS) reactor treating municipal wastewater [base de datos en línea]. (abril, 2016); p-p. 2225-2237. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect

[20]. LACKNER, Susanne; GILBERT, Eva; VLAEMINCK, Siegfried; JOSS, Adriano; HORN, Harold; VAN LOOSDRECHT, Mark. En: Full-scale partial nitrification/anammox experiences - An application survey [base de datos en línea]. (febrero, 2014); p-p. 292-303. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect.

[21]. ABHISHEK, Koul; SIBY, Jhon. A LIFE CYCLE COST APPROACH FOR EVALUATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS. En: International journal of innovative research in advanced engineering (IJIRAE). 2 ed. (Julio, 2015); pp. 3,4,5, ISSN:2349-2163.

[22]. KADER, Abdel; M, Amr. En: comparison study between integrated fixed film activated sludge (ifas), membrane bioreactor (mbr) and conventional activated sludge (as) processes [en línea]. (2012). Disponible en: < <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2012/06/G194.pdf> > [citado 02 de enero de 2017]

[23]. HAZEN; SAWYER. Autoridad Ambiental con Alternativas de Desarrollo. Memoria técnica de la selección justificada de tres sistemas de tratamiento viables. [en línea]. <<https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=75202&download=Y>> [Citado el 16 de Enero de 2017].

[24]. RUTT, Ken; SEDA, Jim; H. Johnson, Chandler. En: Two year case study of integrated fixed film activated sludge (ifas) at broomfield, co wwtp [en línea]. (2006). Disponible en: < <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2012/06/G194.pdf> > [citado 02 de enero de 2017].

[25]. ZAFARZADEH, A; BINA, B; NIKAEEN, M; MOVAHEDIAN ATTAR, H; HAJIAN NEJAD, M. En: Performance of moving bed biofilm reactors for biological nitrogen compounds removal from wastewater by partial nitrification-denitrification process

[en línea]. (2010). Disponible en: < <http://www.bioline.org.br/pdf?se10041> >  
[citado 02 de enero de 2017]

[26]. GUSTAVSSON, D; SYD, V; MALMO, S. Biological Sludge Liquor Treatment at Municipal Wastewater Treatment Plants e a Review. (2010) pp. 179-192.

[27]. CHUNKAI Huang, YIJING Shi, JINKAI Xue, YANYAN Zhang, MOHAMED Gamal, YANG Liu. Comparison of biomass from integrated fixed-film activated sludge (IFAS), moving bed biofilm reactor (MBBR) and membrane bioreactor (MBR) treating recalcitrant organics: Importance of attached biomass. En Journal of Hazardous Materials No 326 (Dic.,2016) pp. 120-129.

[28]. SRIWIRIYARAT T.; RANDALL C. W. Performance of IFAS wastewater treatment processes for biological phosphorus removal. En Water Research, (2005), vol. 39, No 16, pp. 3873-3884.

[29]. YOUNG Bradley, DELATOLLA Robert, KENNEDY Kevin, LAFLAMME Edith, STINTZI Alain. Low temperature MBBR nitrification: Microbiome analysis. En Water Research. (2017), No 111 pp. 224-233.

[30]. CANZIANI Roberto, EMONDI Valeria, GARAVAGLIA Massimiliano, MALPEI Francesca, PASINETTI Eleonora, BUTTIGLIERI Gianluigi. Effect of oxygen concentration on biological nitrification and microbial kinetics in a cross-flow membrane bioreactor (MBR) and moving-bed biofilm reactor (MBBR) treating old landfill leachate. En Journal of Membrane Science, (2006) No 286 pp. 202-212.

[31]. GU Qiyuan, SUN Tichang, WU Gen, LI Mingyue, QIU Wei. Influence of carrier filling ratio on the performance of moving bed biofilm reactor in treating coking wastewater. En Bioresource technology, (2014) No 166 pp. 72-78.

- [32]. BAIN, Mark. STEVENSON, Nathalie (ed.). Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. (1999).
- [33]. ESPIGARES M, PÉREZ J. Aguas residuales: Composición. PÉREZ LÓPEZ, JA y ESPIGARES GARCÍA, M. Estudio sanitario del agua. (1995) pp. 309-330.
- [34]. AMAYA Wilson, CAÑÓN Óscar, SÁNCHEZ Oscar. Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (2004) No 14. pp. 86-95
- [35]. RVT PROCESS EQUIPMENT. Biological carrier media For waste water treatment [en línea]. <[http://www.rvtpe.com/wp-content/uploads/2013/06/RVT\\_BiologicalCarrierMedia\\_130207.pdf](http://www.rvtpe.com/wp-content/uploads/2013/06/RVT_BiologicalCarrierMedia_130207.pdf)> [Citado el 16 de Enero de 2017].
- [36]. Comeau Y, Hall K. Oldham W. A biochemical model for biological enhanced phosphorus removal. Water Science and Technology. No 17 (Nov.,1985) pp. 171-192. Gran Bretaña.
- [37] TWENERGY. El tratamiento de las aguas residuales en Colombia. [en línea]. <<https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>> [Citado el 20 de Enero de 2017].
- [38]. BUSHEY, Joseph, et al. IFAS pilot study for cold weather nitrogen reduction. Proceedings of the Water Environment Federation, (2009) pp. 4453-4461.
- [39]. DALE, Caroline, et al. Wastewater treatment using MBBR in cold climates. En Conference Proceedings of Mine Water Solutions in Extreme Environments.(2015). pp. 12-15.

[40]. RODRIGUEZ V; Jenny Alexandra. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES. [en línea]. <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[41]. BRYERS, J.D; CHARACKLIS, W.G. Biofilms in wáter and wastewater treatment. En: W.G. Characklis and K.C. Marshall (eds) *Biofilms*, (1990). pp. 671–696.

[42] PEREZ, Maria Luisa; DAUTANT, Rafael; CONTRERAS, Antonia; GONZALES, Hubert. REMOCION DE FOSFORO Y NITROGENO EN AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO UN REACTOR DISCONTINUO SECUENCIAL (SBR). [en línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-106.pdf> > [Citado el 25 de Enero de 2017].

[43] BLANCO BUITRAGO, Katherine Andrea; LEON CAICEDO, David Leonardo. DISEÑO HIDRAULICO DELA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS. [en línea]. <<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6629/2/133883.pdf> > [Citado el 25 de Enero de 2017].

[44] PÉREZ ARISTIZÁBAL, Juan David. APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN REACTOR DE CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS (RBC O BIODISCOS) A ESCALA LABORATORIO COMO TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA PRADERA. [en línea].

<[http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20de%20contactores%20biol%C3%B3gicos%20rotativos%20\(RBC%20o%20biodiscos\)%20a%20escala%20laboratorio%20como%20tratamiento%20de%20los%20lixiviados%20generados%20en](http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20de%20contactores%20biol%C3%B3gicos%20rotativos%20(RBC%20o%20biodiscos)%20a%20escala%20laboratorio%20como%20tratamiento%20de%20los%20lixiviados%20generados%20en)

%20el%20relleno%20sanitario%20de%20La%20Pradera.pdf?sequence=3&isAllo  
wed=y > [Citado el 25 de Enero de 2017].

[45]. VILLACRÉS MARTÍNEZ, Edgar Gonzalo. Las aguas residuales y su incidencia en la salud de los habitantes de los barrios sur y subcentro del cantón Santiago de Quero provincia de Tungurahua. Ambato.2013, 14 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería civil y Mecánica.

[46]. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. R.S, Ramalho. Lección 22. Filtro Percolador. [en línea]. <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_22\\_filtro\\_percolador.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_22_filtro_percolador.html)> [citado el 03 de enero de 2017].

[47]. SUSTAINABLE SANITATION AND WATER MANAGEMENT. Activated Sludge. [en línea]. <<http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-3>> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[48]. RAMALHO, Rubens Sette; BELTRÁN, Domingo Jiménez; DE LORA, Federico. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté. 1990. ISBN: 84-291-7975-5.

[49]. HEADWORKS BIO. INTEGRATED FIXED-FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS) PROCESS. [en línea]. <<http://www.headworksinternational.com/biological-wastewater-treatment/ifas.aspx>> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[50]. MARTINEZ VILLANUEVA, Roberto. Bolsas de gases corrosivos en acueductos que transportan agua residual. Ciudad de México. 2014. 17 h. Trabajo

de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

[51]. PAPER INDUSTRY WORLD. MOVING BED BIOFILM REACTORS. [en línea]. <[https://www.google.com.co/search?q=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+mucha+menor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&rlz=1C1NHXL\\_esCO719CO719&oq=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+mucha+menor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&aqs=chrome..69i57j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com.co/search?q=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+mucha+menor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&rlz=1C1NHXL_esCO719CO719&oq=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+mucha+menor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&aqs=chrome..69i57j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[52]. VEOLIA, Anoxkaldnes anita™ mox. [en línea]. <[http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/anita/en/anita\\_mox.htm](http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/anita/en/anita_mox.htm)> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[53]. BIO-FIL. Relleno plastico biofill tipo c y ct. [en línea]. < <http://www.bio-fil.es/es/product/biofill-c/>> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[54]. HEADWORKS BIO. Moving bed biofilm reactor (mbr) technology. [en línea]. <<http://www.headworksinternational.com/biological-wastewater-treatment/mbr.aspx>> [Citado el 25 de Enero de 2017].

[55]. PULIDO, Mireya del Pilar Arcos, ÁVILA DE NAVIA Sara Lilia, ESTUPIÑÁN TORRES, Sandra Mónica, GÓMEZ PRIETO, Aura Cristina. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova, 2005. VOL.3 No. 4:1-116.

[56]. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Filtros percoladores. [en línea]. <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_30\\_biodiscos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_30_biodiscos.html)> [citado el 25 de enero de 2017].

[57]. ØDEGAARD, H. The moving bed biofilm reactor. Water environmental engineering and reuse of water, 1999, vol. 575314, p. 205-305.

[58]. ŻUBROWSKA-SUDOŁ, MONIKA. Moving bed technology as an alternative solution for reducing bioreactor volume. Environment Protection Engineering, 2012, vol. 38, no 3, p. 15--22.

## BIBLIOGRAFÍA

ABHISHEK, Koul; SIBY, Jhon. A Life cycle cost approach for evaluation of sewage treatment plants. En: International journal of innovative research in advanced engineering (IJIRAE). 2 ed. (Julio, 2015); pp. 3,4,5, ISSN:2349-2163.

AHMAD KAZMI, Absar; SINGH, Nitin Kumar En: Environmental performance and microbial investigation of a single stage aerobic integrated fixed-film activated sludge (IFAS) reactor treating municipal wastewater [base de datos en línea]. abril, 2016; p-p. 2225-2237. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect

AMAYA Wilson, CAÑÓN Óscar, SÁNCHEZ Oscar. Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. En Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (2004) No 14. pp. 86-95

BAIN, Mark. STEVENSON, Nathalie (ed.). Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 1999.

BIO-FIL. Relleno plástico biofill tipo c y ct. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017] < <http://www.bio-fil.es/es/product/biofill-c/> >

BLANCO BUITRAGO, Katherine Andrea; LEON CAICEDO, David Leonardo. Diseño hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Guacamayas. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6629/2/133883.pdf>>

BRYERS, J.D; CHARACKLIS, W.G. Biofilms in water and wastewater treatment. En: W.G. Characklis and K.C. Marshall (eds) *Biofilms*, (1990). pp. 671–696.

BUSHEY, Joseph, et al. IFAS pilot study for cold weather nitrogen reduction. Proceedings of the Water Environment Federation, 2009 pp. 4453-4461.

CAMARGO RODRÍGUEZ, María Pía. Efecto de la aireación sobre la remoción de materia orgánica y nitrógeno en biorreactores de lecho móvil. Ciudad de México, 2011, 48 h. Trabajo de grado (Maestro en Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

CANZIANI Roberto, EMONDI Valeria, GARAVAGLIA Massimiliano, MALPEI Francesca, PASINETTI Eleonora, BUTTIGLIERI Gianluigi. Effect of oxygen concentration on biological nitrification and microbial kinetics in a cross-flow membrane bioreactor (MBR) and moving-bed biofilm reactor (MBBR) treating old landfill leachate. En Journal of Membrane Science, 2006 No 286 pp. 202-212.

CHUNKAI Huang, YIJING Shi, JINKAI Xue, YANYAN Zhang, MOHAMED Gamal, YANG Liu. Comparison of biomass from integrated fixed-film activated sludge (IFAS), moving bed biofilm reactor (MBBR) and membrane bioreactor (MBR) treating recalcitrant organics: Importance of attached biomass. En Journal of Hazardous Materials No 326 Dic.,2016 pp. 120-129.

COMEAU Y, HALL K. OLDHAM W. A biochemical model for biological enhanced phosphorus removal. Water Science and Technology. No 17 Nov.,1985 pp. 171-192. Gran Bretaña.

COOPERATIVA DE TEXAS. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras: Filtro percolador. [en línea]. [Citado el 20 de Enero de 2017]. disponible

en: <[https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Trickling-Filter-S.pdf](https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Trickling-Filter-S.pdf)>

DALE, Caroline, et al. Wastewater treatment using MBBR in cold climates. En Conference Proceedings of Mine Water Solutions in Extreme Environments. 2015. pp. 12-15.

ESPIGARES M, PÉREZ J. Aguas residuales: Composición. PÉREZ LÓPEZ, JA y ESPIGARES GARCÍA, M. Estudio sanitario del agua. 1995 pp. 309-330.

GOBIERNO DE CHILE: FUNDACIONCHILE. Tecnología de Lodos Activados. [en línea]. [citado el 18 de enero de 2017]. disponible en: <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)>

GU Qiyuan, SUN Tichang, WU Gen, LI Mingyue, QIU Wei. Influence of carrier filling ratio on the performance of moving bed biofilm reactor in treating coking wastewater. En Bioresource technology, 2014 No 166 pp. 72-78.

GUSTAVSSON, D; SYD, V; MALMO, S. Biological Sludge Liquor Treatment at Municipal Wastewater Treatment Plants e a Review. 2010 pp. 179-192.

HAZEN; SAWYER. Autoridad Ambiental con Alternativas de Desarrollo. Memoria técnica de la selección justificada de tres sistemas de tratamiento viables. [en línea]. [Citado el 16 de Enero de 2017]. disponible en: <<https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=75202&download=Y>>

HEADWORKS BIO. INTEGRATED FIXED-FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS) PROCESS. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.headworksinternational.com/biological-wastewater-treatment/ifas.aspx>>

HEADWORKS BIO. Moving bed biofilm reactor (mbr) technology. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017] disponible en: <<http://www.headworksinternational.com/biological-wastewater-treatment/mbr.aspx> >

HEADWORKSBIO. Active cell MBBR/IFAS wastewater treatment. [en línea]. [Citado el 16 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.headworksinternational.com/userfiles/file/HW%20BIO%20Literature/ActiveCell%20Brochure%20WEB%20LTR.pdf>>

IGARASHI,T., WATANABE,Y., ASANO,T. and TAMBO, N. : Water Environmental Engineering and Reuse of Water, Hokkaido Press 1999. pp 250-305.

KADER, Abdel; M, Amr. En: comparison study between integrated fixed film activated sludge (ifas), membrane bioreactor (mbr) and conventional activated sludge (as) processes 2012 [en línea]. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en: < <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2012/06/G194.pdf> >

LACKNER, Susanne; GILBERT, Eva; VLAEMINCK, Siegfried; JOSS, Adriano; HORN, Harold; VAN LOOSDRECHT, Mark. En: Full-scale partial nitrification/anammox experiences - An application survey [base de datos en línea]. febrero, 2014; p-p. 292-303. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect.

MALOVANY, Andriy; TRELA, Jozef; PLAZA, Elzbieta. En: Mainstream wastewater treatment in integrated fixed film activated sludge (IFAS) reactor by partial nitrification/anammox process [base de datos en línea]. septiembre, 2015; p-p. 478-487. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en ScienceDirect.

MARA Duncan, HORAN Nigel. Handbook of Water and Wastewater Microbiology. London. 2003. 317-319 p. (British Library Cataloguing) ISBN 0-12-470100-0.

MARTINEZ VILLANUEVA, Roberto. Bolsas de gases corrosivos en acueductos que transportan agua residual. Ciudad de México. 2014. 17 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

MATA AMARO, Luis Antonio. Empleo de biodiscos en el tratamiento de aguas residuales generadas en un edificio de ciudad universitaria. Ciudad de México, 2012, 21 h. Trabajo de grado (Maestro en Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra Edición. España: Antonio García Brage, 1998. pp 53.

ØDEGAARD, H. The moving bed biofilm reactor. Water environmental engineering and reuse of water, 1999, vol. 575314, p. 205-305.

PAPER INDUSTRY WORLD. MOVING BED BIOFILM REACTORS. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <[https://www.google.com.co/search?q=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+muchomenor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&rlz=1C1NHXL\\_esCO719CO719&oq=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+muchomenor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&aqs=chrome..69i57.154j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com.co/search?q=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+muchomenor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&rlz=1C1NHXL_esCO719CO719&oq=El+riesgo+de+obstrucci%C3%B3n+de+MBBR+es+muchomenor+que+con+los+reactores+de+biopel%C3%ADcula+fija&aqs=chrome..69i57.154j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)>

PÉREZ ARISTIZÁBAL, Juan David. Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC o BIODISCOS) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la pradera. [en

línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <[http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20de%20contactores%20biol%C3%B3gicos%20rotativos%20\(RBC%20o%20biodiscos\)%20a%20escala%20laboratorio%20como%20tratamiento%20de%20los%20lixiviados%20generados%20en%20el%20relleno%20sanitario%20de%20La%20Pradera.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20de%20contactores%20biol%C3%B3gicos%20rotativos%20(RBC%20o%20biodiscos)%20a%20escala%20laboratorio%20como%20tratamiento%20de%20los%20lixiviados%20generados%20en%20el%20relleno%20sanitario%20de%20La%20Pradera.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>

PÉREZ, María Luisa; DAUTANT, Rafael; CONTRERAS, Antonia; GONZALES, Hubert. Remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales utilizando un reactor discontinuo secuencial (SBR). [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-106.pdf>>

PIPELINE. Explaining the Activated Sludge Process. [en línea]. [Citado el 20 de Enero de 2017]. disponible en: <[http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL\\_SP03.pdf](http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL_SP03.pdf)>

PULIDO, Mireya del Pilar Arcos, ÁVILA DE NAVIA Sara Lilia, ESTUPIÑÁN TORRES, Sandra Mónica, GÓMEZ PRIETO, Aura Cristina. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova, 2005. Vol. 3 No. 4:1-116.

RAMALHO, Rubens Sette; BELTRÁN, Domingo; JIMÉNEZ DE LORA, Federico. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté. 1990. ISBN: 84-291-7975-5.

RANDOLPH, Justus. A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. En: A peer-reviewed electronic journal. No 12 Jun., 2009, pp. 1-13. ISSN 1531-7714.

RODRIGUEZ V; Jenny Alexandra. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>>

RUTT, Ken; SEDA, Jim; H. Johnson, Chandler. En: Two year case study of integrated fixed film activated sludge (ifas) at broomfield, co wwtp [en línea]. [citado 02 de enero de 2017]. Disponible en: < <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2012/06/G194.pdf> >

RVT PROCESS EQUIPMENT. Biological carrier media For waste water treatment [en línea]. [Citado el 16 de Enero de 2017]. disponible en: <[http://www.rvtpe.com/wp-content/uploads/2013/06/RVT\\_BiologicalCarrierMedia\\_130207.pdf](http://www.rvtpe.com/wp-content/uploads/2013/06/RVT_BiologicalCarrierMedia_130207.pdf)>

SIMCOE ENGINEERING GROUP LIMITED. Technical Memorandum No.3: Evaluation of Short Listed Secondary Treatment Process Options. En: City of brockville WPC upgrade class EA 2016 [En líne]. [ citado en 16 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.brockville.com/UploadedFiles/earappd.pdf>>

SRIWIRIYARAT T.; RANDALL C. W. Performance of IFAS wastewater treatment processes for biological phosphorus removal. En Water Research, (2005), vol. 39, No 16, pp. 3873-3884.

SUSTAINABLE SANITATION AND WATER MANAGEMENT. Activated Sludge. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-3>>

TWENERGY. El tratamiento de las aguas residuales en Colombia. [en línea]. [Citado el 20 de Enero de 2017]. disponible en: <<https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>>

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Biodiscos. [en línea]. [citado el 18 de enero de 2017]. disponible en: <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/BIODISCOS.PDF>>

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Filtros percoladores. [en línea]. [citado el 18 de enero de 2017]. disponible en: <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>>

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. R.S, Ramalho. Filtros Percoladores. [en línea]. [citado el 18 de enero de 2017]. disponible en: <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/PERCOLADORES.pdf>>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Filtros percoladores. [en línea]. [citado el 25 de enero de 2017] disponible en: <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_30\\_biodiscos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_30_biodiscos.html)>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. R. S, Ramalho. Lección 22. Filtro Percolador. [en línea]. [citado el 03 de enero de 2017]. disponible en: <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_22\\_filtro\\_percolador.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_22_filtro_percolador.html)>

VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de la Literatura Parte 1. En: Revista Dyna. No 81 Oct., 2014, pp. 9-10. ISSN 2346-2183

VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de la Literatura Parte 3. En: Revista Dyna. No 81 (Feb., 2014), pp. 9-12. ISSN 2346-2183.

VEOLIA, Anoxkaldnes anita™ mox. [en línea]. [Citado el 25 de Enero de 2017]. disponible en: <[http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/anita/en/anita\\_mox.htm](http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/anita/en/anita_mox.htm) >

VILLACRÉS MARTÍNEZ, Edgar Gonzalo. Las aguas residuales y su incidencia en la salud de los habitantes de los barrios sur y subcentro del cantón Santiago de Quero provincia de Tungurahua. Ambato.2013, 14 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería civil y Mecánica.

WASTEWATER INNOVATIONS. MAKING SANITATION A SUSTAINABLE BUSINESS. Technology: Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS). [en línea]. [Citado el 20 de Enero de 2017]. disponible en: <<http://wastewaterinfo.asia/sites/default/files/tech-sheets/integrated-fixed-film-activated-sludge.pdf>>

YOUNG Bradley, DELATOLLA Robert, KENNEDY Kevin, LAFLAMME Edith, STINTZI Alain. Low temperature MBBR nitrification: Microbiome analysis. En Water Research. 2017, No 111 pp. 224-233.

ZAFARZADEH, A; BINA, B; NIKAEEN, M; MOVAHEDIAN ATTAR, H; HAJIAN NEJAD, M. En: Performance of moving bed biofilm reactors for biological nitrogen compounds removal from wastewater by partial nitrification-denitrification process [en línea]. [citado 02 de enero de 2017] Disponible en: <<http://www.bioline.org.br/pdf?se10041> >

ŻUBROWSKA-SUDOŁ, MONIKA. Moving bed technology as an alternative solution for reducing bioreactor volume. *Environment Protection Engineering*, 2012, vol. 38, no 3, p. 15--22.

## ANEXOS

### ANEXO A. Materia Orgánica

<u>Proteínas</u>	Son los principales componentes del organismo animal o vegetal cuando éstos están crudos. La composición química de las proteínas es muy compleja e inestable, pudiendo adoptar muchos mecanismos de descomposición diferentes. Todas las proteínas contienen carbono, oxígeno, hidrógeno contienen azufre, hierro y fósforo.
<u>Hidratos de Carbono</u>	Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua, principalmente los azúcares que tienen tendencia a descomponerse, mientras que otros, como los almidones, son insolubles.
<u>Grasas y Aceites</u>	La presencia de este en el agua residual puede provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.
<u>Agentes Tensoactivo</u>	Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual.

## ANEXO B. Medida de Contenido Orgánico

<p><u><i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i></u></p>	<p>El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado es la DBO a 5 días (DBO<sub>5</sub>). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.</li><li>• Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.</li><li>• Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.</li><li>• Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.</li></ul>
<p><u><i>Demanda Química de Oxígeno</i></u></p>	<p>El ensayo de la DQO se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.</p>

## ANEXO C. Materia Inorgánica

<u><i>pH</i></u>	La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos.
<u><i>Cloruros</i></u>	No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí que es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Los métodos convencionales de tratamiento de las aguas no contemplan la eliminación de cloruros en cantidades significativas.
<u><i>Alcalinidad</i></u>	La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.
<u><i>Nitrógeno</i></u>	Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales mediante procesos biológicos.
<u><i>Fósforo</i></u>	El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan por medio de vertidos de aguas residuales debe ser limitada para evitar la proliferación desmesurada de material orgánico.
<u><i>Azufre</i></u>	Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias.
<u><i>Compuestos tóxicos inorgánicos</i></u>	El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados ya que se ha visto alterado el tratamiento por la presencia de estos iones, hasta el extremo de

	provocar la muerte de los microorganismos, obligando a detener el tratamiento.
<u>Metales</u> <u>Pesados</u>	Como constituyentes importantes de muchas aguas podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios. La ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas.

## ANEXO D. Gases

<p><u>Oxígeno</u> <u>Disuelto</u></p>	<p>El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos como la solubilidad del gas y la temperatura.</p> <p>Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.</p>
<p><u>Sulfuro de</u> <u>hidrógeno</u></p>	<p>El sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS) u otros sulfuros metálicos.</p>
<p><u>Metano</u></p>	<p>Es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales.</p>

## ANEXO E. Biología de las aguas residuales

<u>Microorganismos</u>	Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueo-bacterias. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.
<u>Bacterias</u>	El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.
<u>Hongos</u>	Muchos de los hongos basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.
<u>Algas</u>	Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización.
<u>Protozoos</u>	La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaerobios, aunque se conocen algunos anaerobios. Tienen importancia tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.
<u>Plantas y Animales</u>	El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

<p style="text-align: center;"><u>Virus</u></p>	<p>Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10.000 y 100.000 dosis de virus hepático.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Organismos Patógenos</u></p>	<p>Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.</p>