



XXI Congreso
Internacional
Ambiental

CONIECO

DESARROLLO DE TRATAMIENTOS AEROBIOS EN MEDIO FIJO

Ing. Emilio Javier Manrique Ramírez
Perito en gestión de la calidad del agua



Water
Mex

GREEN
THE EXPO
Global Resources Environmental & Energy Network
EXPOSICIÓN Y CONFERENCIAS



Reactores de Biopelícula

- Generalidades
- Uso en el tratamiento de aguas residuales



Introducción

- EL AGUA EN MÉXICO

Disponibilidad de agua en cantidad y calidad es una condición necesaria para hacer viable el desarrollo social, económico y ambiental de nuestro país.

- ZONA METROPOLITANA



- Limitación de espacios para instalar PTAR.
- Incrementar la capacidad de los sistemas depuradores por unidad de área construida.

Generalidades del tratamiento de aguas residuales

Serie de operaciones y procesos a los que se someten las aguas residuales con el objeto de disminuir o eliminar las características perjudiciales de los componentes que éstas contienen.



PRETRATAMIENTO

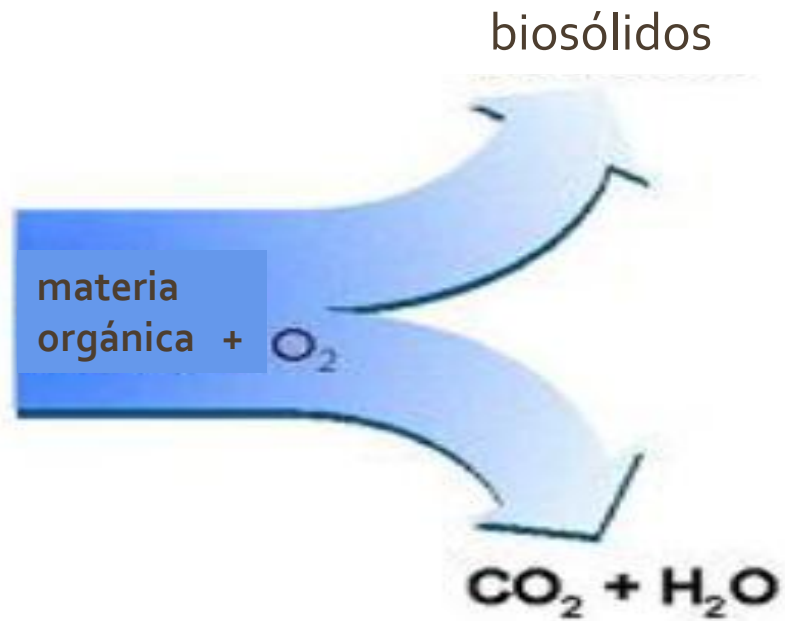
TRATAMIENTO
PRIMARIO

TRATAMIENTO
SECUNDARIO

TRATAMIENTO
TERCIARIO O
AVANZADO

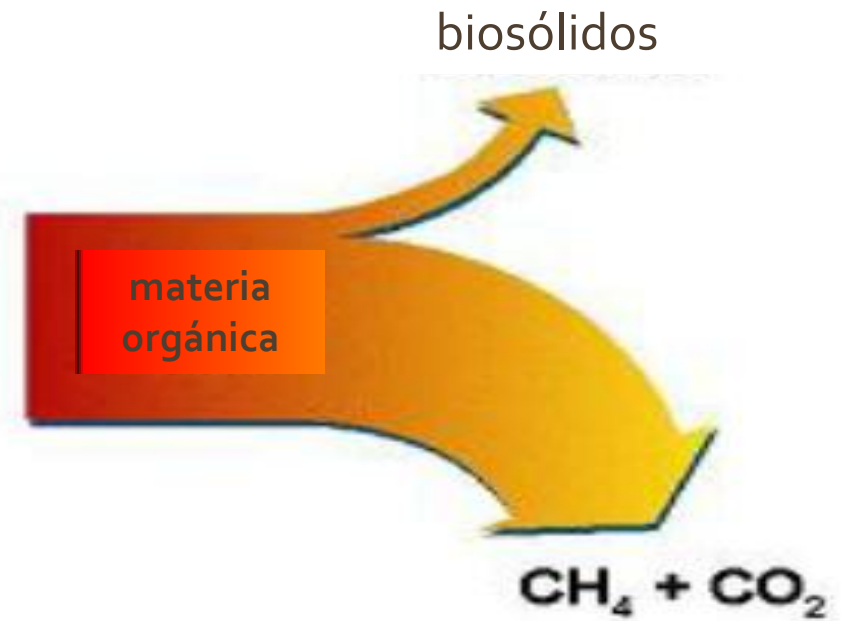
DESINFECCIÓN

Aerobio

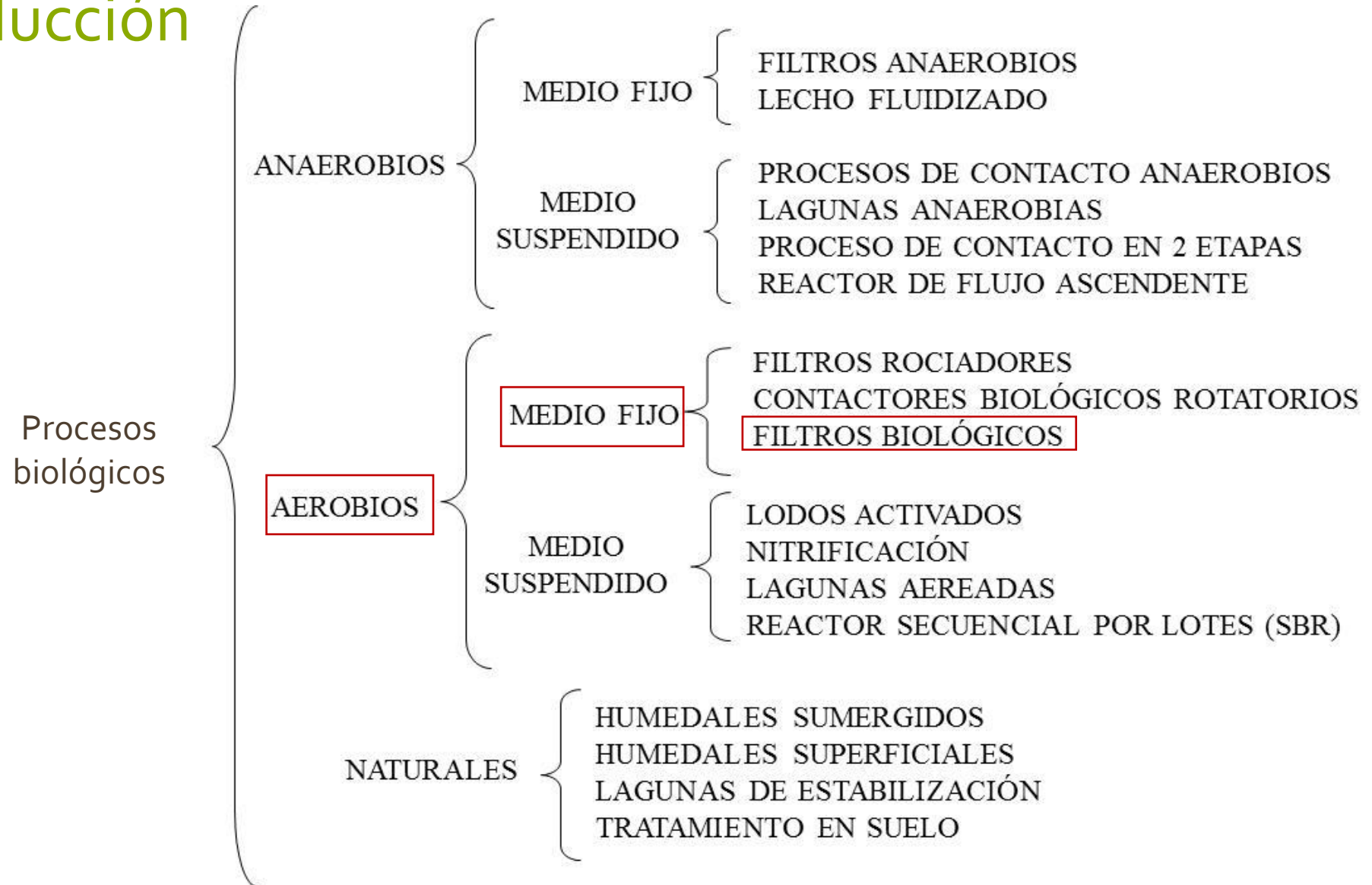


materia orgánica

Anaerobio



Introducción

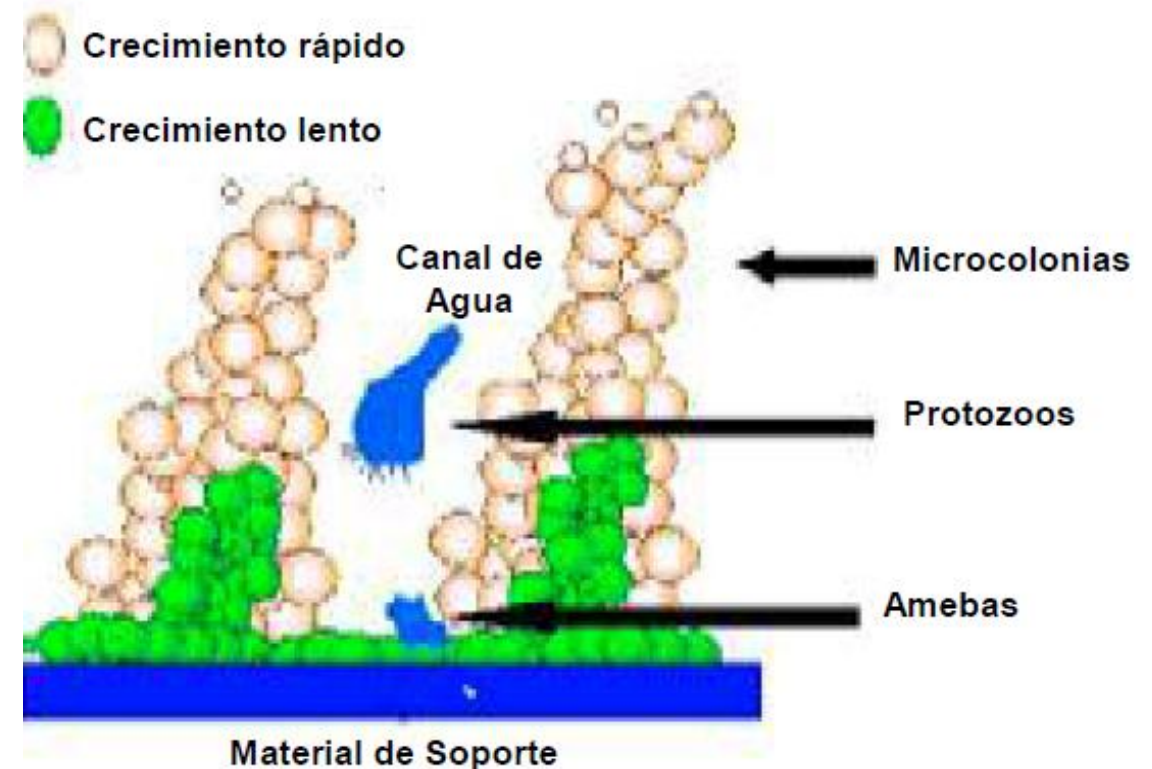


Generalidades

- Diversos estudios sobre biopelículas señalan que pueden existir una relación entre la cantidad de nutrientes y el modelo al cual se ajusta la biopelícula, por otra parte otros factores que pueden afectar la composición de la biopelícula son:

- Textura del material de soporte,
- Características hidrodinámicas del sistema,
- Tipo de microorganismos que lo componen,
- Naturaleza de la fase líquida, y
- Geometría del reactor

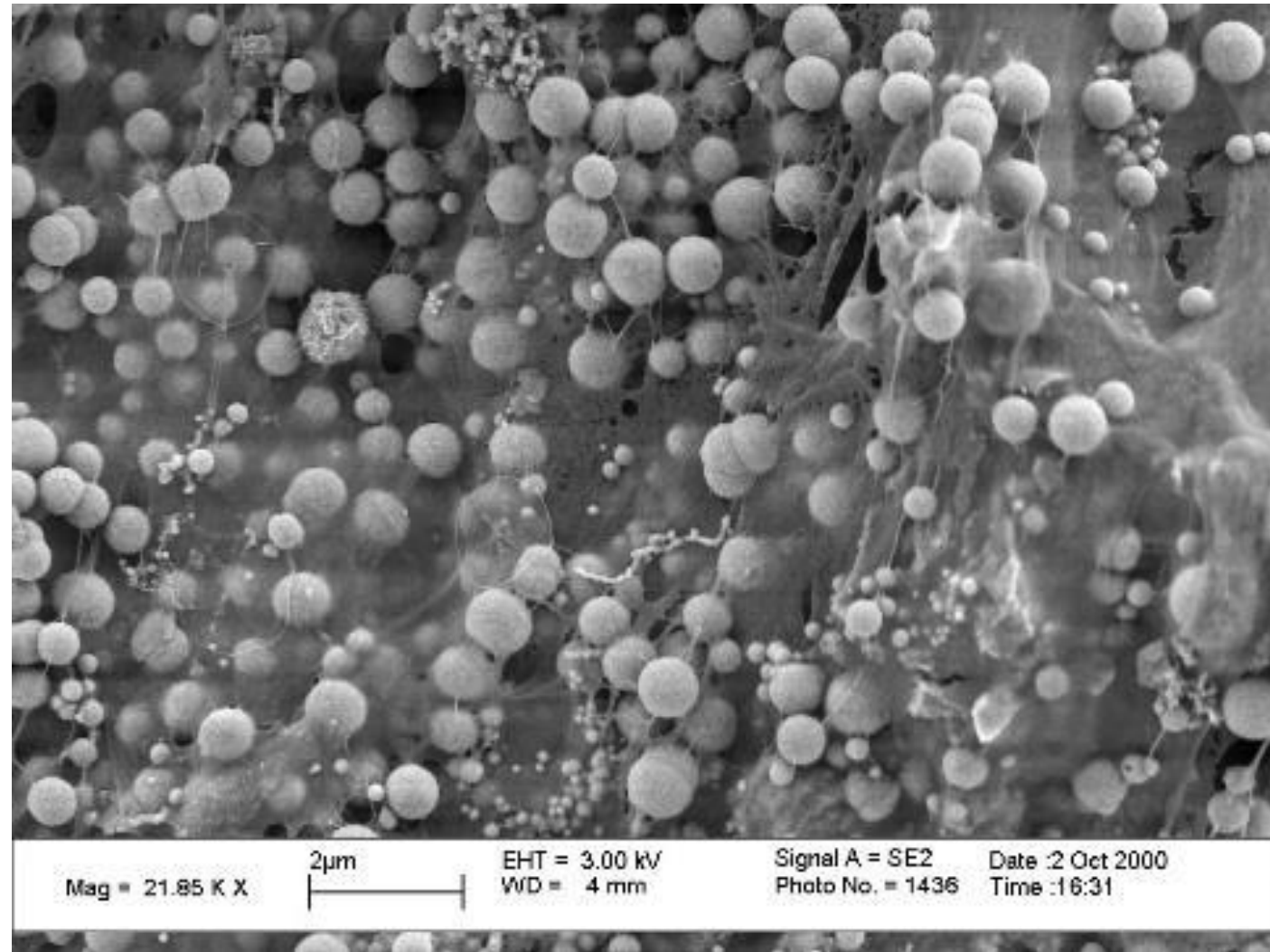
- Dentro de las biopelículas coexisten varias especies de microorganismos su variedad y proliferación dependerán de:
 - Tipo de agua residual,
 - Carga hidráulica,
 - Carga orgánica, y
 - Disponibilidad de oxígeno



Distribución de los organismos dentro de la biopelícula

Generalidades

- Las biopelículas están formadas por conglomerados celulares sumergidos en una red de polímeros extracelulares (PEC), responsables de la integridad de la biopelícula.
- Ofrecen a los microorganismos beneficios como: protección contra agentes dañinos, cambios drásticos en el ambiente y contra otros organismos depredadores.

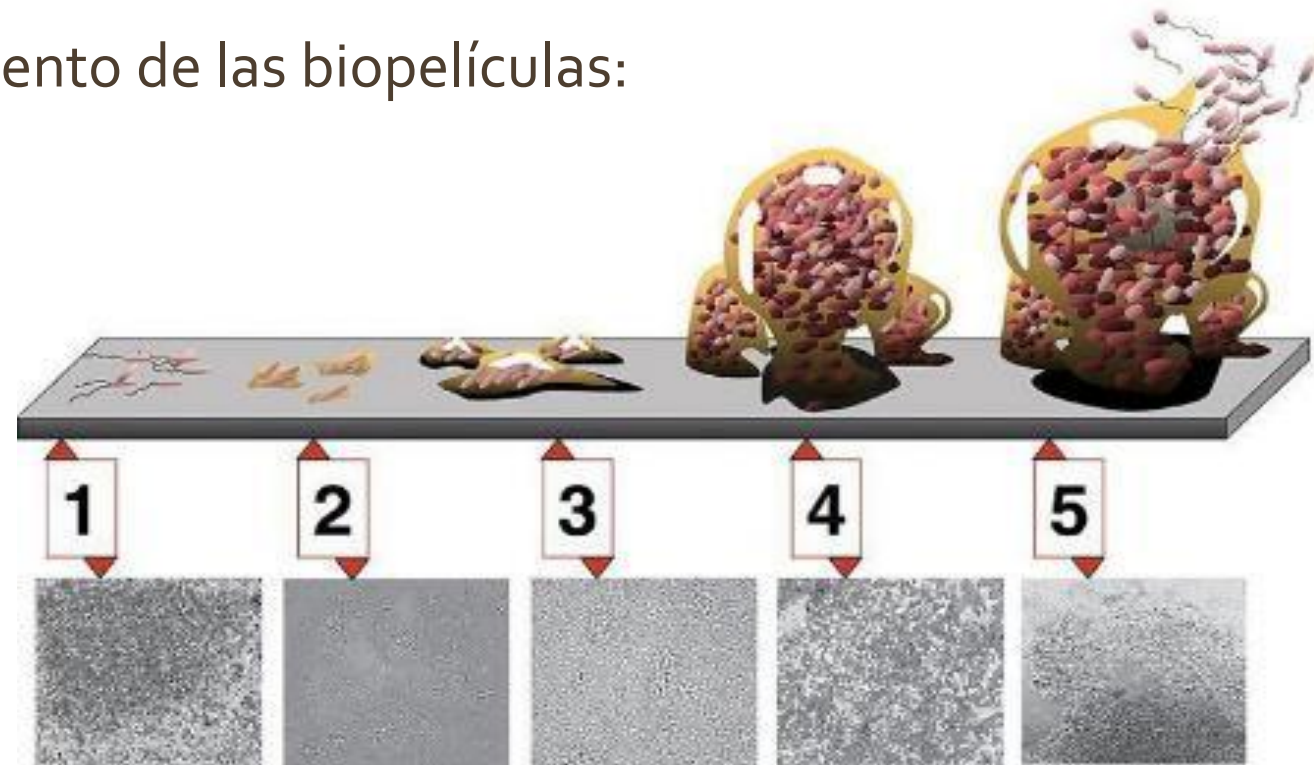


Micrografía electrónica de 21,850 aumentos, que muestra los detalles de la superficie de una biopelícula con una matriz hidratada formada por polisacáridos y proteínas y agregados bacterianos

Generalidades

Se reconocen 5 etapas para el establecimiento de las biopelículas:

1. Acondicionamiento de la superficie por adsorción de materia orgánica.
2. Transporte de células y nutrientes al sitio de adherencia.
3. Inicio del proceso de adhesión bacteriana, todavía reversible, por atracción electrostática.
4. Crecimiento celular, colonización y adhesión irreversible.
5. La biopelícula presenta alta actividad metabólica y liberación de células localizadas en la periferia



Etapas del establecimiento de la biopelícula

Uso en el tratamiento de aguas residuales

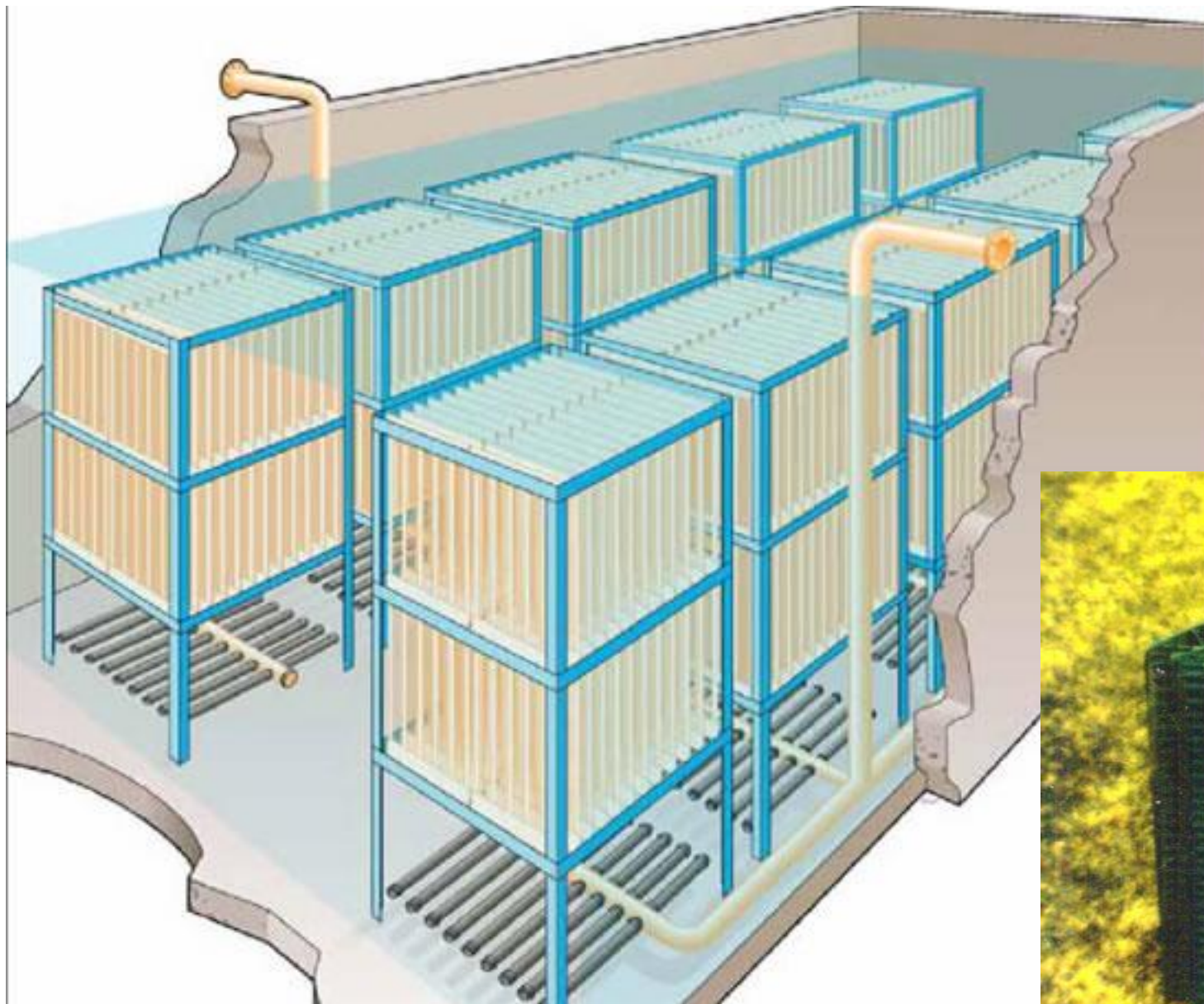
- Los reactores de biopelícula son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas residuales, en este tipo de reactores el afluente a tratar se pone en contacto con la microbiota adherida, en forma de lama sobre toda la superficie del medio de soporte.
- El medio de soporte de la biopelícula puede ser **fijo** o **en movimiento**, ejemplos de su uso en el tratamiento de aguas se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplos de reactores de biopelícula

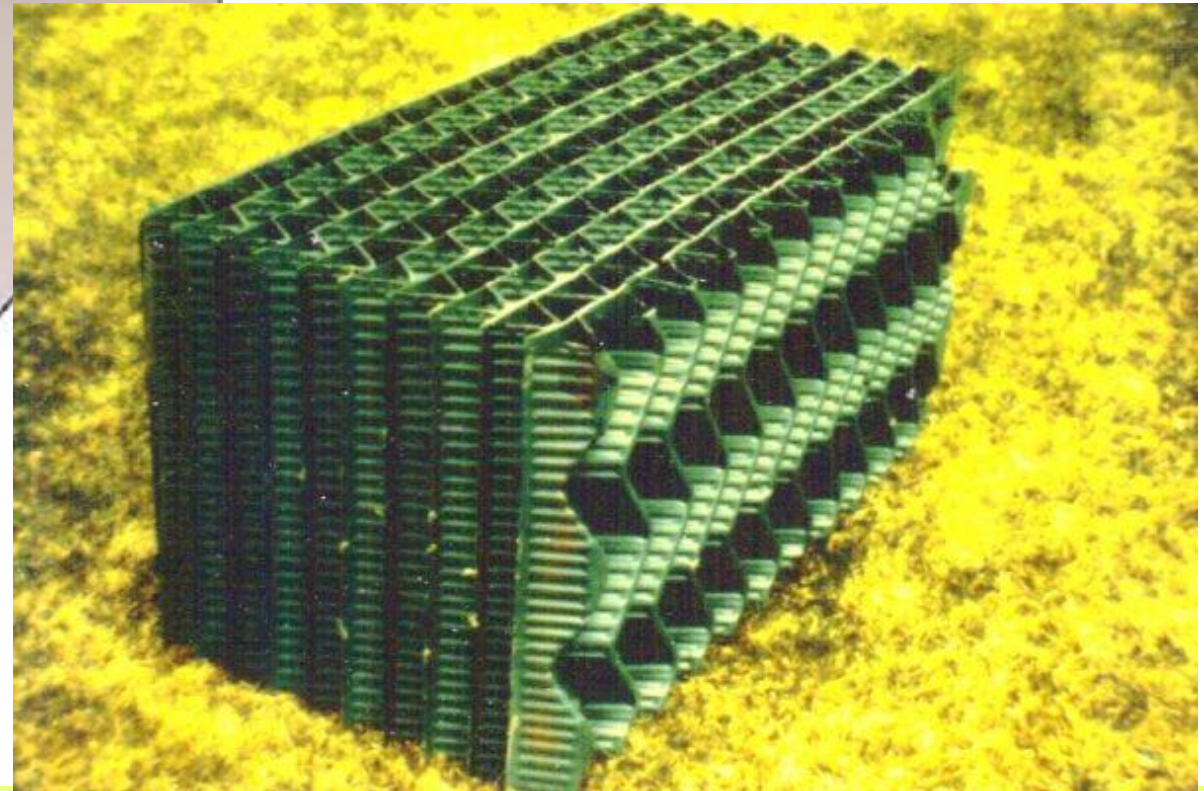
Tipo de medio de soporte	Ejemplo
Fijo	• Filtros rociadores (percoladores) • Lecho empacado de flujo ascendente
En movimiento	• Reactores de biopelícula de lecho móvil • Contactores biológicos rotatorios (Biodiscos)

Filtros rociadores (percoladores)





Lecho empacado de flujo ascendente



Reactores de biopelícula de lecho móvil



Contactores biológicos rotatorios (Biodiscos)





Variantes y aplicaciones de los reactores aerobios de medio fijo

- Generalidades
- Ventajas y desventajas
- Retos a futuro



Uso en el tratamiento de aguas residuales

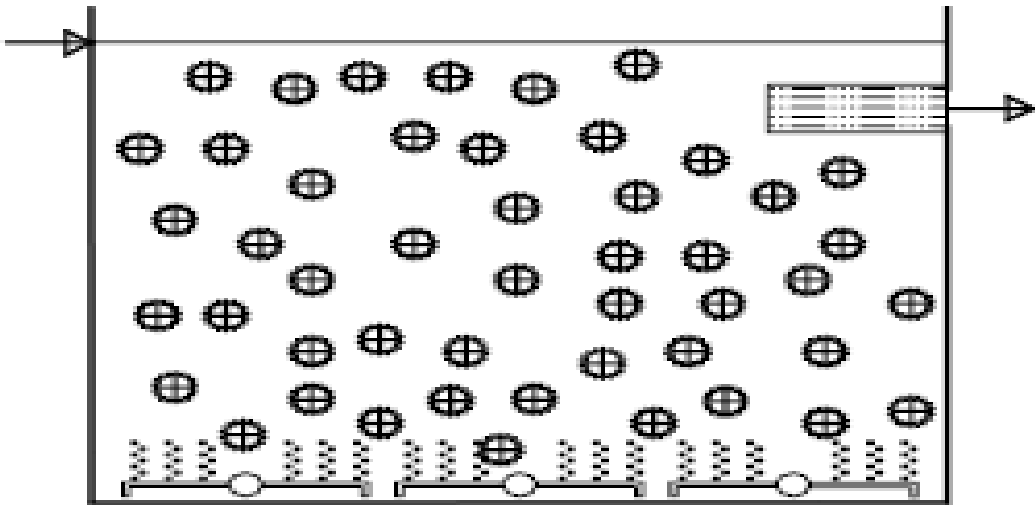
- Uno de los factores más importantes para el establecimiento de las biopelículas, es la naturaleza del medio de soporte, pues influyen de gran manera:
 - El balance entre cargas eléctricas resultantes en la superficie y,
 - La rugosidad superficial del material
- Es por ello que en la práctica se debe elegir adecuadamente el medio de soporte y hacer pruebas preliminares con el mismo, incluso con aquellos recomendados por los fabricantes.
- En una planta de tratamiento de aguas residuales de un centro comercial, se colocó un medio de soporte inadecuado para reactores de biopelícula en medio fijo sumergido que no permitía el establecimiento de la biopelícula y al poco tiempo tuvo que ser sustituido.



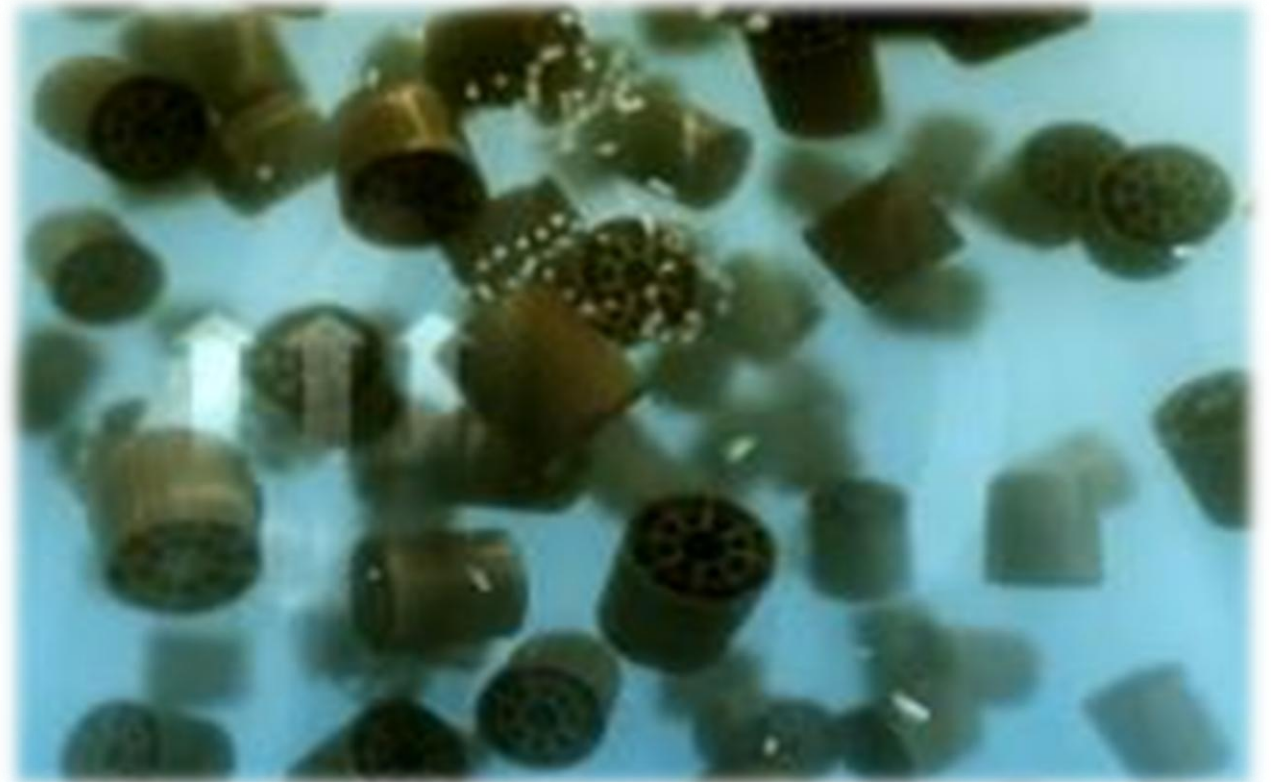
Tipo de medio de soporte inadecuado para el caso de estudio

Reactor biológico de cama móvil

Moving Bed Biofilms Reactors (MBBR)



Crecimiento de la biomasa en soportes plásticos que se mueven en el reactor biológico mediante la agitación generada por sistemas de aireación.



Funcionan de manera similar a los lodos activados, con la adición de un medio de soporte móvil, por lo cual son adecuadas para renovar las PTAR actuales

Soportes de material plástico poroso, densidad próxima a 1 g/cm³.

El medio de soporte se compone de pequeñas unidades generalmente plásticas de baja densidad, que proveen una gran área superficial para el establecimiento de la biopelícula.

La tecnología ha sido utilizada para:

- Remoción de materia orgánica
- Nitrificación del efluente secundario
- Nitrificación de aguas residuales municipales e industriales
- Desnitrificación de efluente nitrificado (condiciones anóxicas)



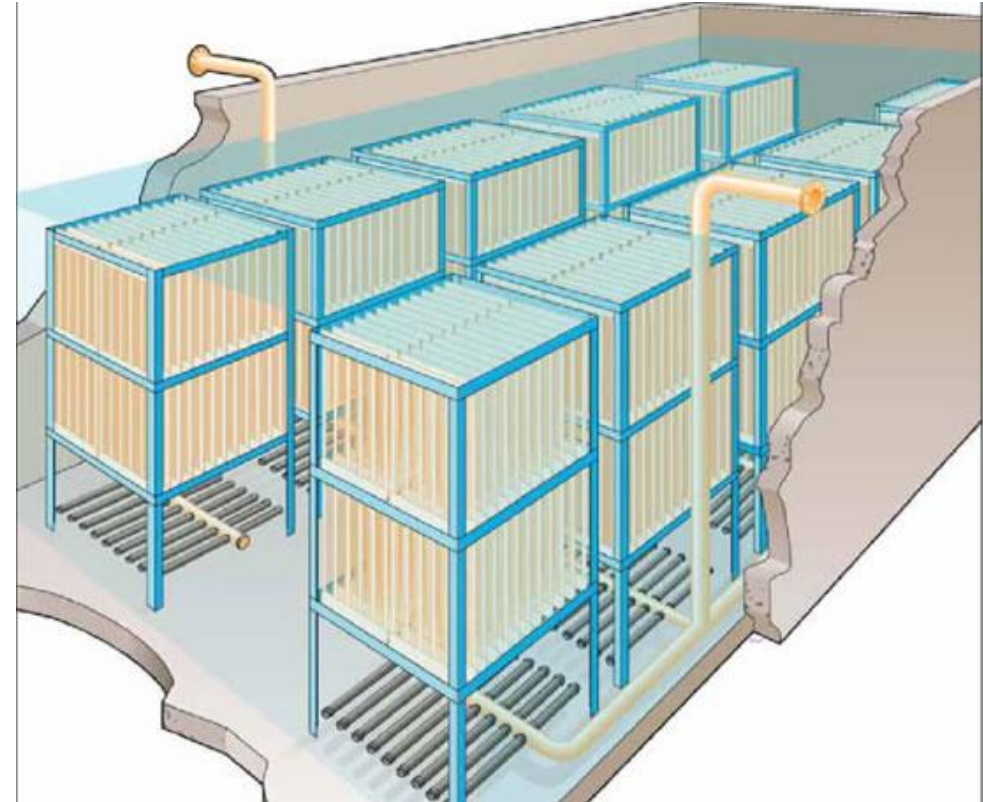
Medio de soporte para lecho suspendido

Krish Enviro. Sewage Treatment Plants <http://www.krishenviro.com/sewage-treatment-plants.html>

Reactores aerobios de lecho fijo sumergido

Los reactores aerobios de lecho fijo sumergido, son sistemas de biopelículas, en los que el medio de soporte se sumerge dentro de las aguas residuales para crear una gran superficie de contacto.

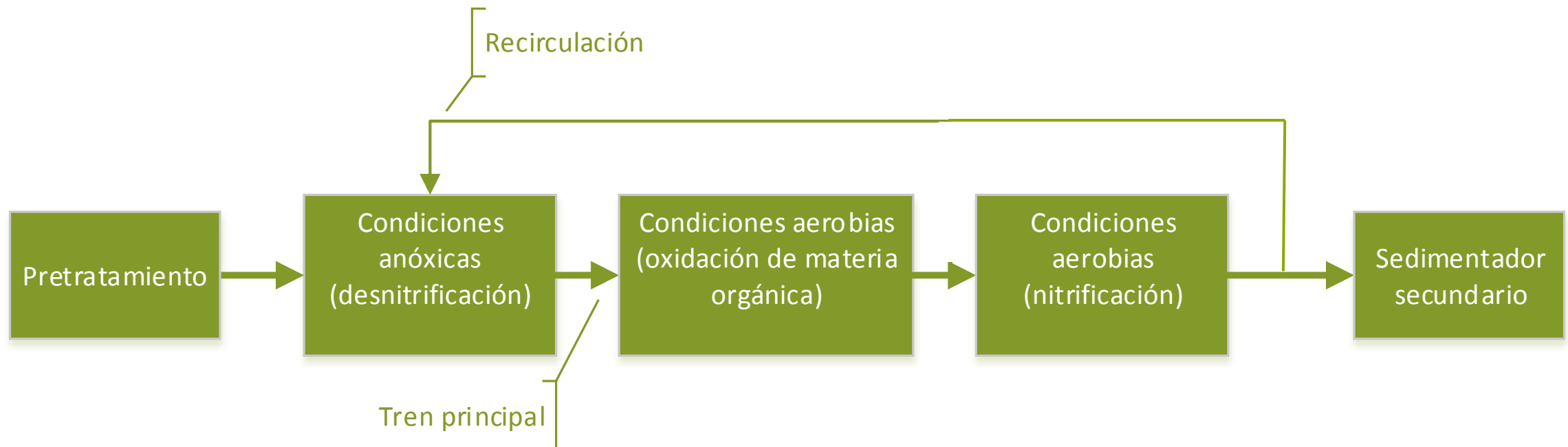
En estos sistemas, generalmente el oxígeno es suministrado mediante difusores de burbuja fina ubicados en el fondo del reactor.



Reactor aerobio de lecho fijo sumergido

Reactores aerobios de lecho fijo sumergido

- Estos sistemas también pueden ser utilizados como una fase anóxica para promover la desnitrificación.
- Por lo tanto este tipo de sistemas pueden ser usados en serie, es decir, promover la pre-desnitrificación previo a la aireación, posteriormente la oxidación de la materia orgánica y finalmente la nitrificación, recirculando parte del caudal a la entrada del reactor de nitrificación.



Tren de tratamiento combinado Anóxico-Aerobio para promover la remoción de nutrientes

- Esta tecnología permite la eliminación de nitrógeno total.
- Al reducir la cantidad de oxígeno en el medio (agua residual) se promueven condiciones anóxicas dentro de la biopelícula.

Gómez et al (2013) utilizaron dos reactores en serie, con recirculación interna para remover el nitrógeno total de un afluente.

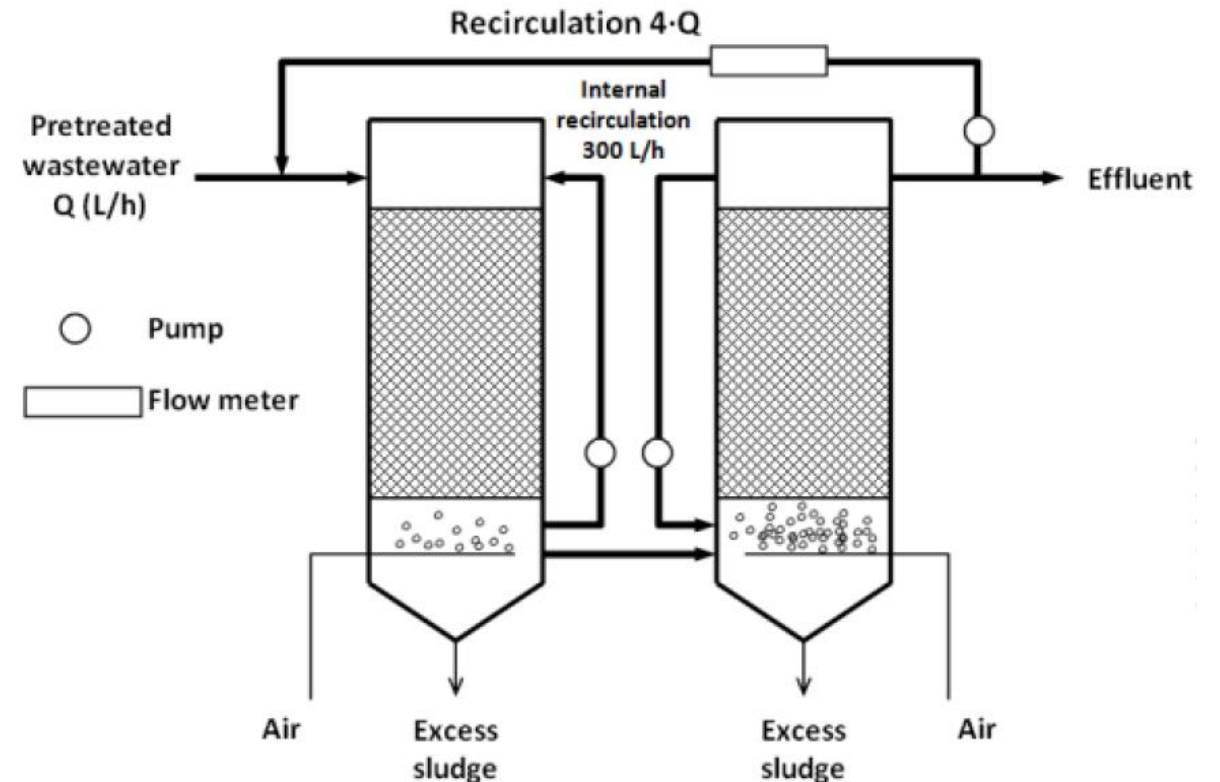
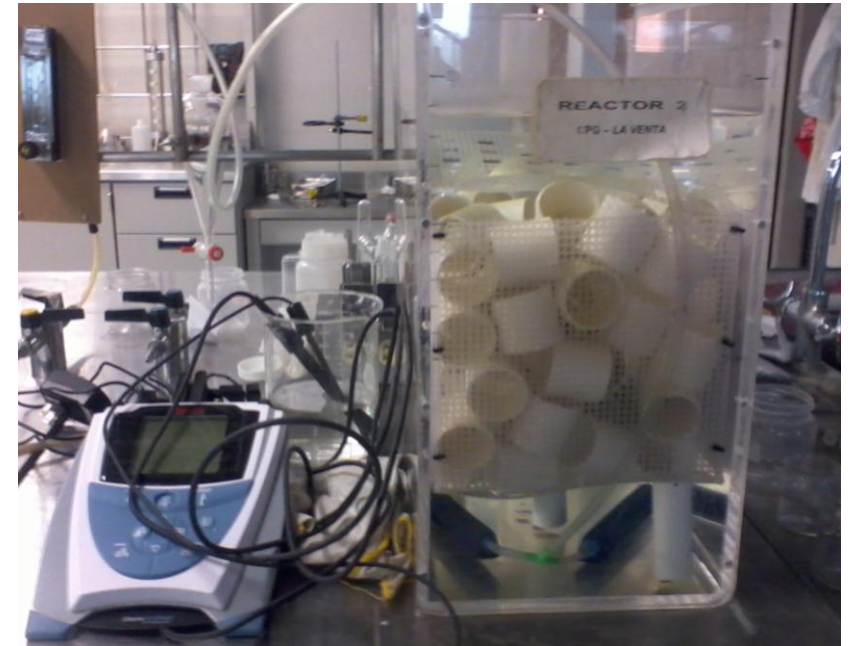


Diagrama del diseño experimental de *Gómez et al (2013)*

Reactores aerobios de lecho fijo sumergido

- Los reactores aerobios (o combinados) de lecho fijo sumergido, son particularmente adecuados para aquellas plantas de tratamiento que presenten variaciones en la calidad y caudal del afluente, o bien en aquellas en que la carga orgánica del mismo no permita una cantidad adecuada de biomasa dentro del reactor.
- Esto es posible por que la biomasa total se compone de aquella en estado suspendido y la que forma parte de la biopelícula, esta última representa la mayor parte de la biomasa total y es retenida dentro del reactor, lo que permite una mayor tasa de remoción de la materia orgánica.

En la actualidad se investiga sobre materiales de medio de soporte para la biopelícula, que sean de costo accesible y adecuados para el tratamiento, estos sistemas podrían ser adaptados en las plantas de tratamiento de ciudades, las cuales en general no tienen espacio para nuevas estructuras.



Adaptación de estos sistemas en plantas construidas.

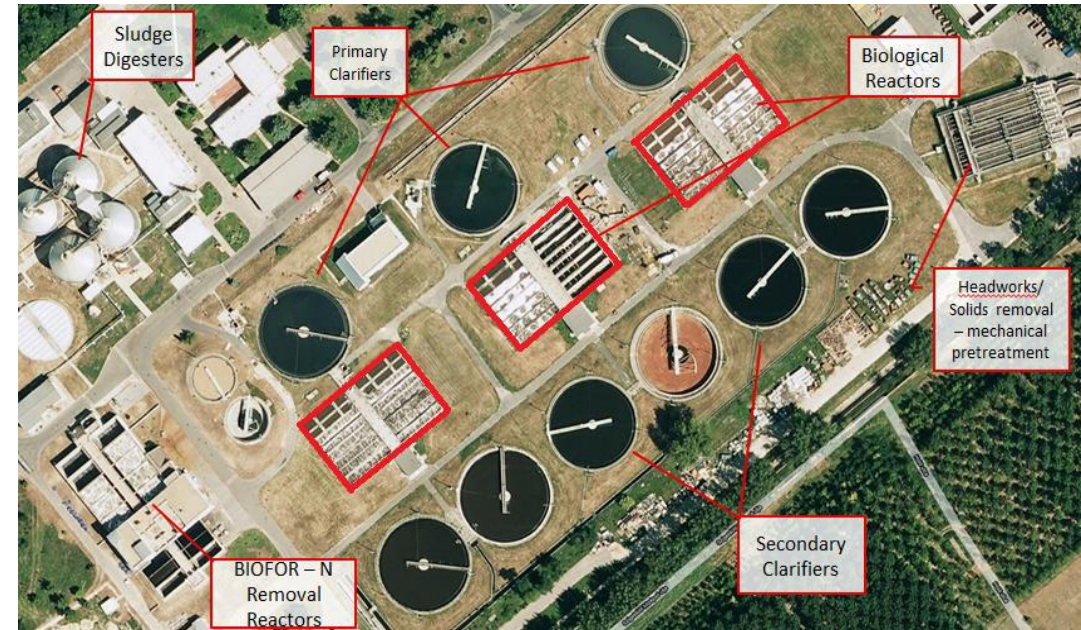
- Este tipo de sistemas pueden ser adaptados a plantas construidas, permitiendo incluso aumentar el caudal tratado, puesto que se mantiene una concentración mas alta de sólidos dentro del reactor.
- Se ha observado que al adaptar estos sistemas a plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales y aumentar el caudal tratado, no se requiere aumentar la capacidad en la sedimentación secundaria, pues la mayor parte de la biomasa esta contenida dentro del reactor.
- Un caso real sucedió en un planta de tratamiento de un centro comercial rehabilitada con esta tecnología. Uno de los problemas principales de esta planta eran las grandes variaciones de caudal y calidad del afluente, lo que hacia imposible operarla adecuadamente mediante un proceso de lodos activados convencional.



Sedimentador secundario circular

Adaptación de este tipo de sistemas en plantas construidas (continuación).

- Tóth y Szilágyi (2013), presentan un caso de estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Budapest, Hungría.
- La planta fue rehabilitada durante el 2012, para aumentar su caudal de 60,000 a 80,000 m³/d, otros factores que motivaron la rehabilitación son los siguientes:
 - La carga orgánica aumentó considerablemente
 - Cumplir con el límite de 50 mg/L de DQO en el efluente,
 - Reducir la cantidad de olores
 - Reducir la carga de SST y DBO en la desnitrificación para un óptimo funcionamiento



Vista aérea de la planta de tratamiento rehabilitada

Adaptación de estos sistemas en plantas construidas.

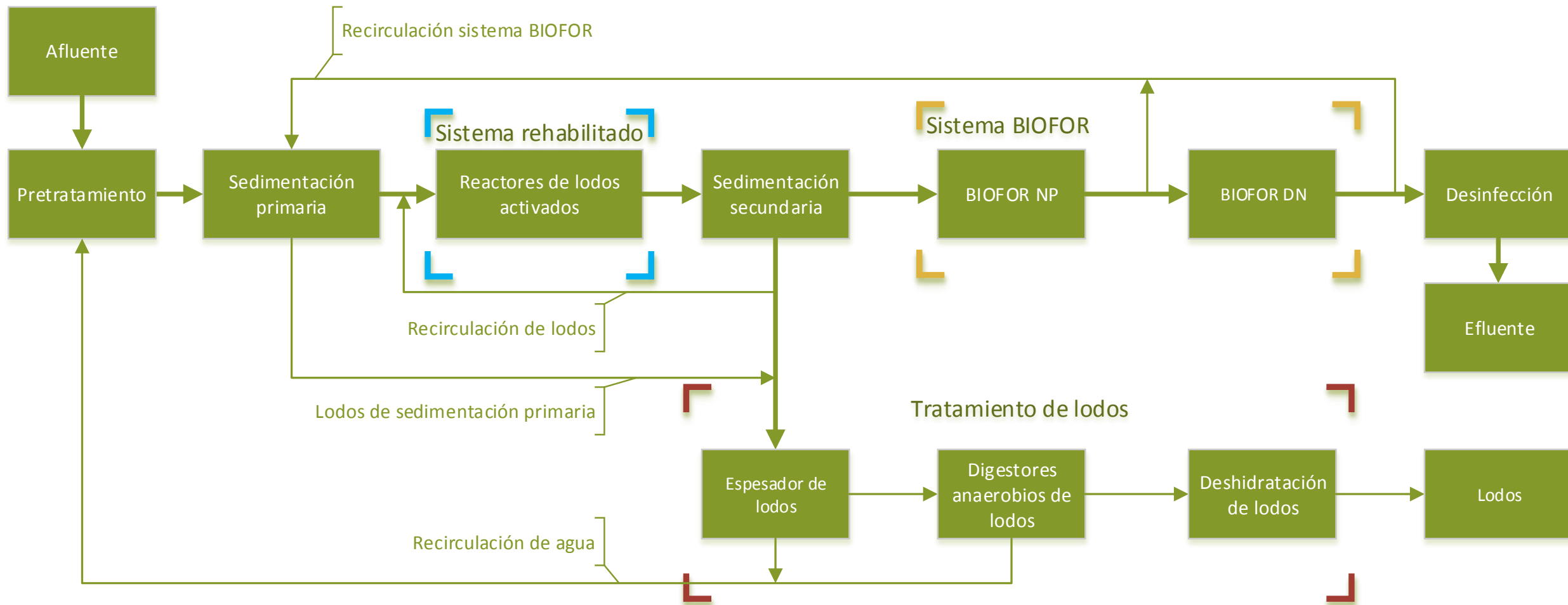


Diagrama de flujo de la planta de tratamiento rehabilitada

Adaptación de estos sistemas en plantas construidas.

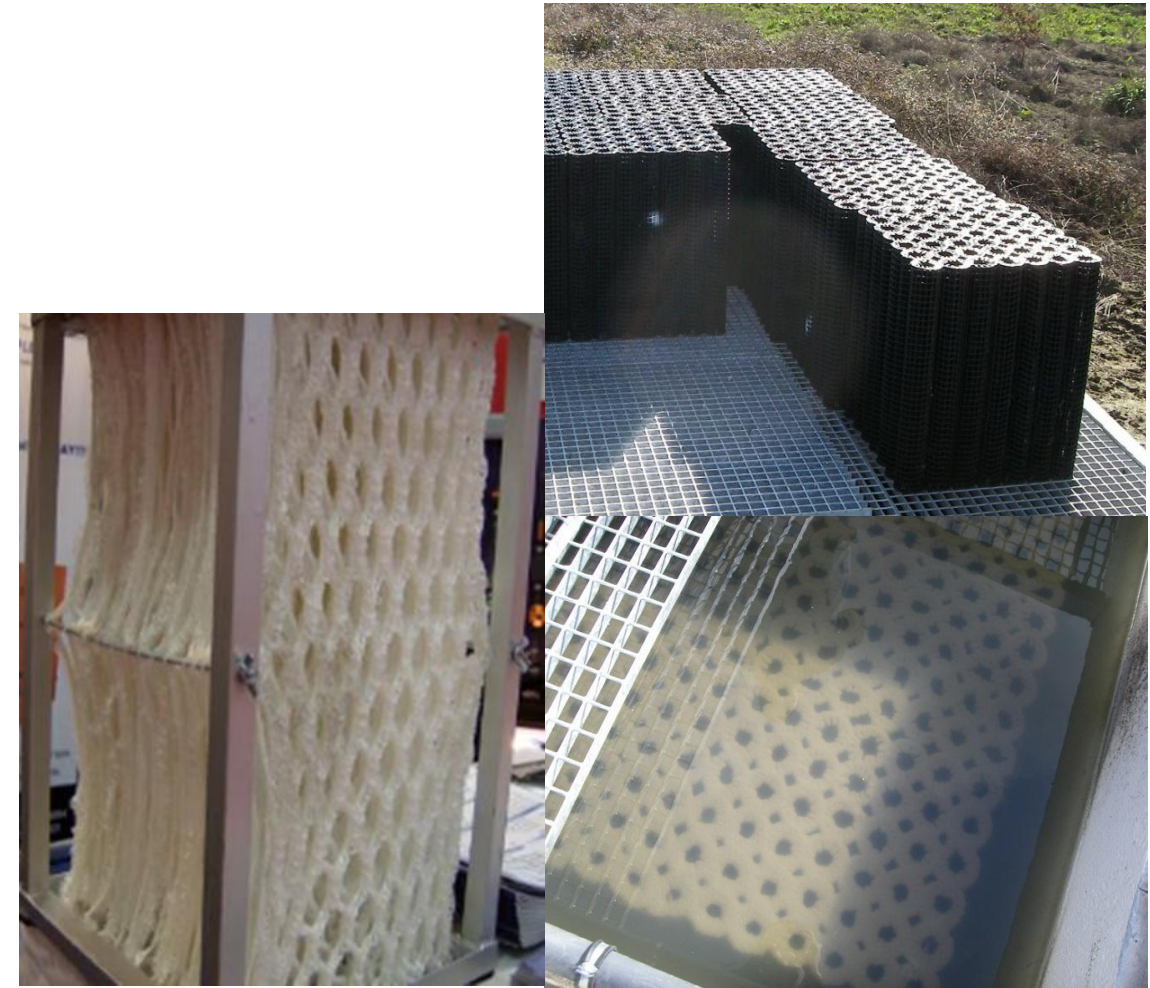
- De su estudio de factibilidad concluyeron en que no era posible aumentar los SSLM sin que fuera necesaria la construcción de nuevos clarificadores secundarios, lo cual no es posible ya que no hay espacio disponible para nuevas estructuras.
- Por lo tanto la única opción realista para la rehabilitación era la utilización de sistemas de biopelícula, que mantuvieran una mayor cantidad de biomasa dentro de los reactores.



Soporte artificial instalado dentro de las reactores

Medios de soporte

El medio de soporte en este tipo de sistemas generalmente esta compuesto de "celdas" o paneles plásticos fijos al reactor, pero también se utilizan, "empaques de medios plásticos con distribución al azar" en donde existe una mayor diferenciación entre las condiciones sobre el medio de soporte, logrando a su vez una mayor diversidad en los microorganismos presentes.



Medios de soporte comerciales

Medios de Soporte

Otros estudios sobre estos sistemas demuestran que al utilizar difusores de burbuja fina y medios plásticos como medio de soporte de la biopelícula, se obtienen mejores resultados en la eficiencia de remoción, ya que retienen las burbujas de oxígeno, incrementando el tiempo de contacto, a la vez que se reduce la posibilidad de atascamientos por parte de la biomasa.



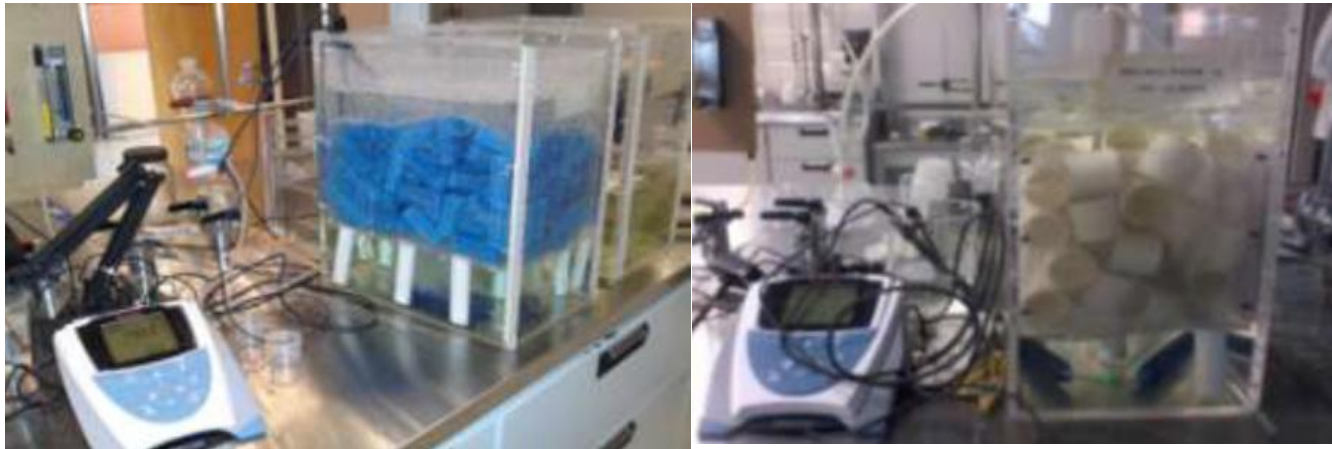
Arreglo típico del medio de soporte y difusores

Reactores de biopelícula de lecho suspendido

El medio de soporte se compone de pequeñas unidades generalmente plásticas, de baja densidad, que proveen una gran área superficial para el establecimiento de la biopelícula.



Medio de soporte para lecho suspendido



Medios de soporte en investigación

Ventajas y desventajas

Biopelícula en Medio Fijo

Ventajas	Desventajas
Fácil de instalar	Se puede ensuciar si el pretratamiento no es adecuado
Bajo costo inicial	En sistemas de malla pueden aparecer lombrices del genero <i>Tubifex</i>
Sin pérdidas de materiales	El aire puede ser un factor limitante
Se promueven procesos de remoción de nutrientes	

Biopelícula en Medio Suspendido

Ventajas	Desventajas
Excelente Mezcla	Perdida de material
Gran superficie	Los difusores se pueden dañar por el contacto con el medio
	Dificultad para mantener en agitación el medio cuando se desarrolla la biopelícula por incremento del peso específico
	Si se interrumpe la aireación, el medio de soporte puede aglutinarse en el fondo o bien flotar, dependiendo del material y cantidad de biomasa adherida

Ventajas y desventajas de los reactores de biopelícula vs reactores convencionales de lodos activados

Ventajas

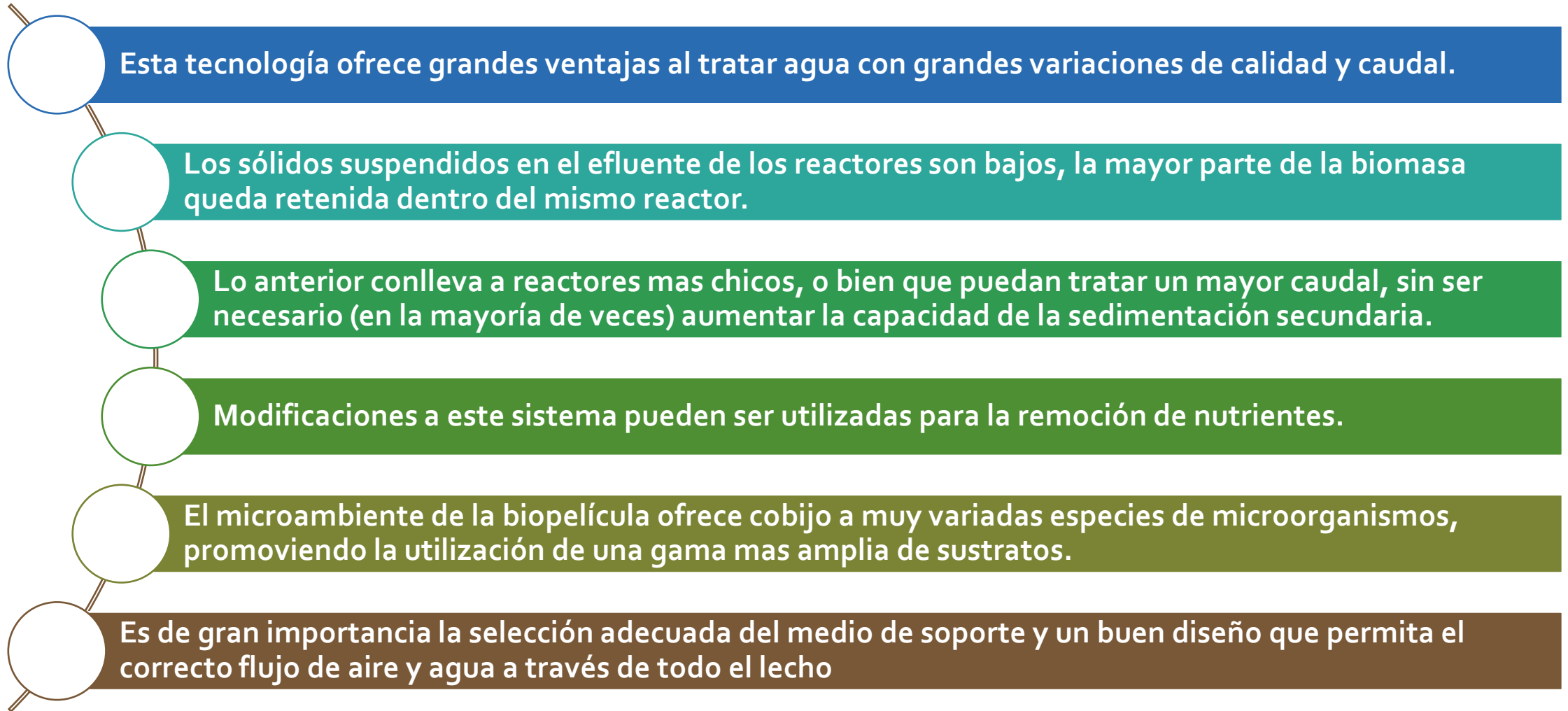
- Soportan variaciones en la carga y caudal
- Aumentan la cantidad de biomasa dentro del reactor, sin aumentar la cantidad de SSLM
- Requieren de menor cantidad de energía, ya que no hay que mantener suspendida la biomasa
- Pueden ser adaptados a plantas ya construidas con limitaciones de área
- No hay pérdidas en el material de soporte
- Con un diseño correcto se pueden remover nutrientes de las aguas residuales
- Aumentan la variedad de microorganismos dentro del reactor

- Reducción de volumen del reactor biológico
- Ausencia de bulking filamentoso
- Recuperación rápida del proceso ante inhibiciones.
- No necesita re-circular los lodos
- La separación de biomasa se da en flóculos pesados.

Desventajas

- Se pueden generar atascos en la biomasa dentro del reactor,
- Requieren un buen pre tratamiento para evitar atascos,
- La cantidad de oxígeno puede ser un factor limitante si no se aprovechan las condiciones anóxicas generadas.

Conclusiones



Referencias

- Gómez , Esteban y Tejero, (2013). "Aerated submerged fixed-bed biofilm reactor system with specific support for carbon and total nitrogen removal at pilot scale". 9th International Conference on Biofilm Reactors. 2013. Paris, Francia.
- Tóth y Szilágyi , (2013). "Full scale application of an FBAS technology – a case study". 9th International Conference on Biofilm Reactors. Paris, Francia
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Declaratoria de vigencia DOF. 17-04-2001.
- Borja, J. Q., J. L. Auresenia y S. M. Gallardo. (2003). "Biofilm reactor technology for hazardous wastes treatment. Carta presentada dentro del programa de investigación en tecnología ambiental del Instituto asiático de tecnología".
- Casey, E., Glennon, B., Hamer, G. (1999). Oxygen Mass Transfer Characteristics in a membrane-Aerated Biofilm Reactor. *Biotechnology & Bioengineering* 62 (2).
- González, M. S. (1998). Biopelículas Aerobias en Tratamientos de Aguas Residuales. Venezuela.
- H. Scott Fogler. (2008). Elementos de ingeniería de las reacciones químicas. Cuarta edición. Editorial Pearson educación. México.
- Madigan, M. T., J. M. Martinko y J. Parker. (2003). Biología de los microorganismos. Editorial Pearson educación. México.
- Levenspiel, O. (1993). Ingeniería de las reacciones químicas. 2da Ed. Reverté S.A. México.
- Ramalho Rubens . (1996). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A.
- Rodríguez Rosales M. (2009). "Diseño, construcción y caracterización de un reactor electroquímico para remoción de Cr(VI) de aguas residuales para la industria de galvanoplastia".



CINAM
Colegio de Ingenieros
Ambientales de México, A. C.



Gracias por su atención

Ing. Emilio Javier Manrique Ramírez

ejmanriquer@hotmail.com

Tel. 55 5277 4712

Cel. 55 2109 9862