



*Tendencias en el tratamiento  
Integral de Aguas Residuales*

# Congreso Internacional Ambiental Manizales

## “Tendencias en el tratamiento integral de aguas residuales”

**Manizales, septiembre 18 - 21 de 2017**



Centro para la  
Formación Cafetera  
SENA Regional Caldas



Instituto de Estudios Ambientales IDEA  
Sede Manizales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales



# Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

*Septiembre 18 del 2017*

**Peter Robinson**  
Hazen and Sawyer, P.C.

# Metas Durante la Selección del Proceso

- \* Confiabilidad en el desempeño
- \* Eficiencia energética
- \* Cumplir con las restricciones de presupuesto
- \* Bajos costos de operación y mantenimiento
- \* Reducir la complejidad
- \* Flexibilidad para cumplir con requerimientos futuros en el efluente
- \* Minimizar impactos ambientales (olores, ruido, etc.)
- \* Producir un lodo estabilizado
- \* Posibilidad de re-uso del efluente y los lodos
- \* Buena aceptación por parte de la comunidad y los vecinos

# Desarrollo del Proceso

Tecnologías de bajo costo para áreas rurales y comunidades con restricciones de tipo monetario ( $Q < \pm 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ )



Lagunas y tratamientos anaeróbicos (UASB), localizados en sitios aislados

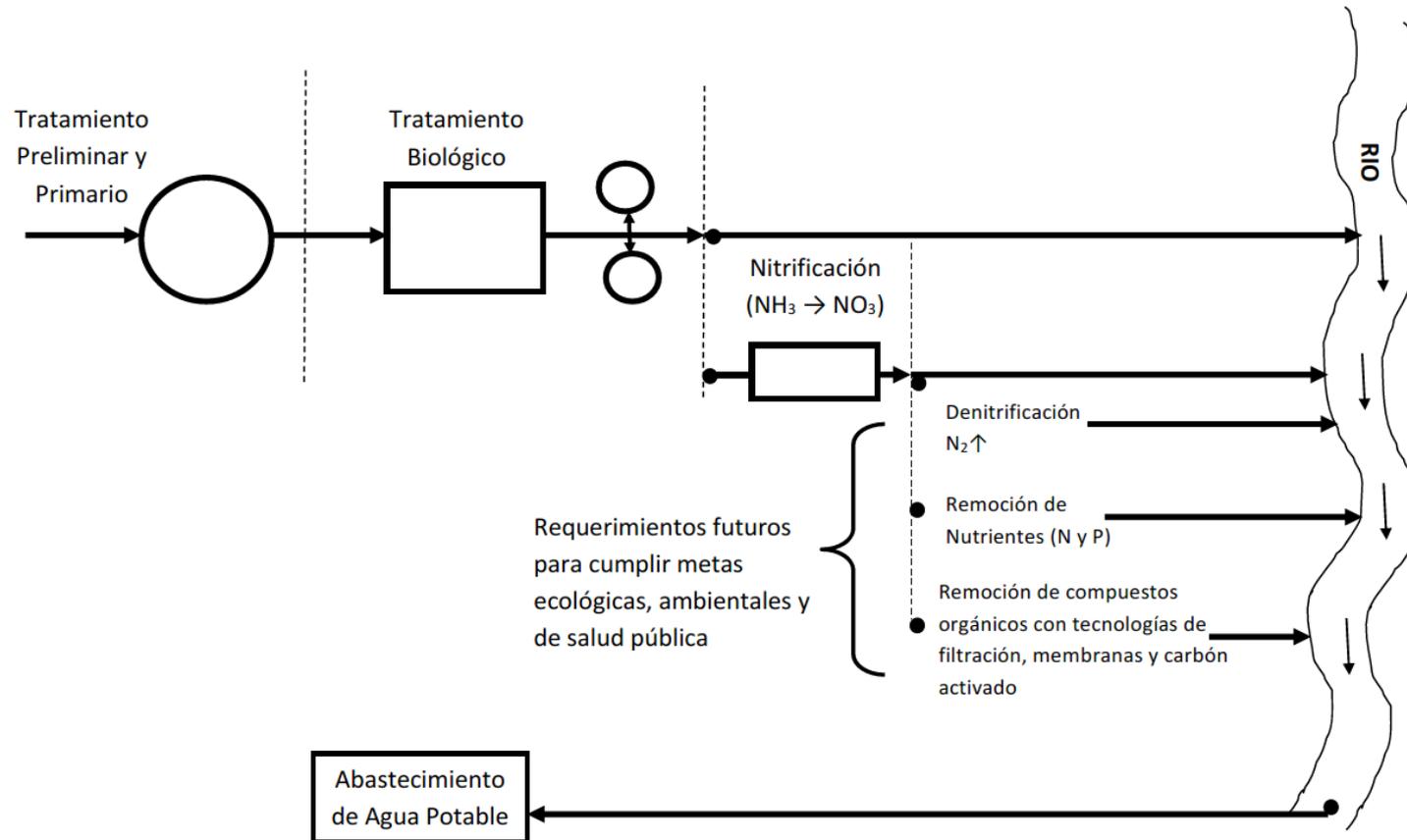
Áreas metropolitanas de tamaño mediano a grande ( $Q > \pm 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ )



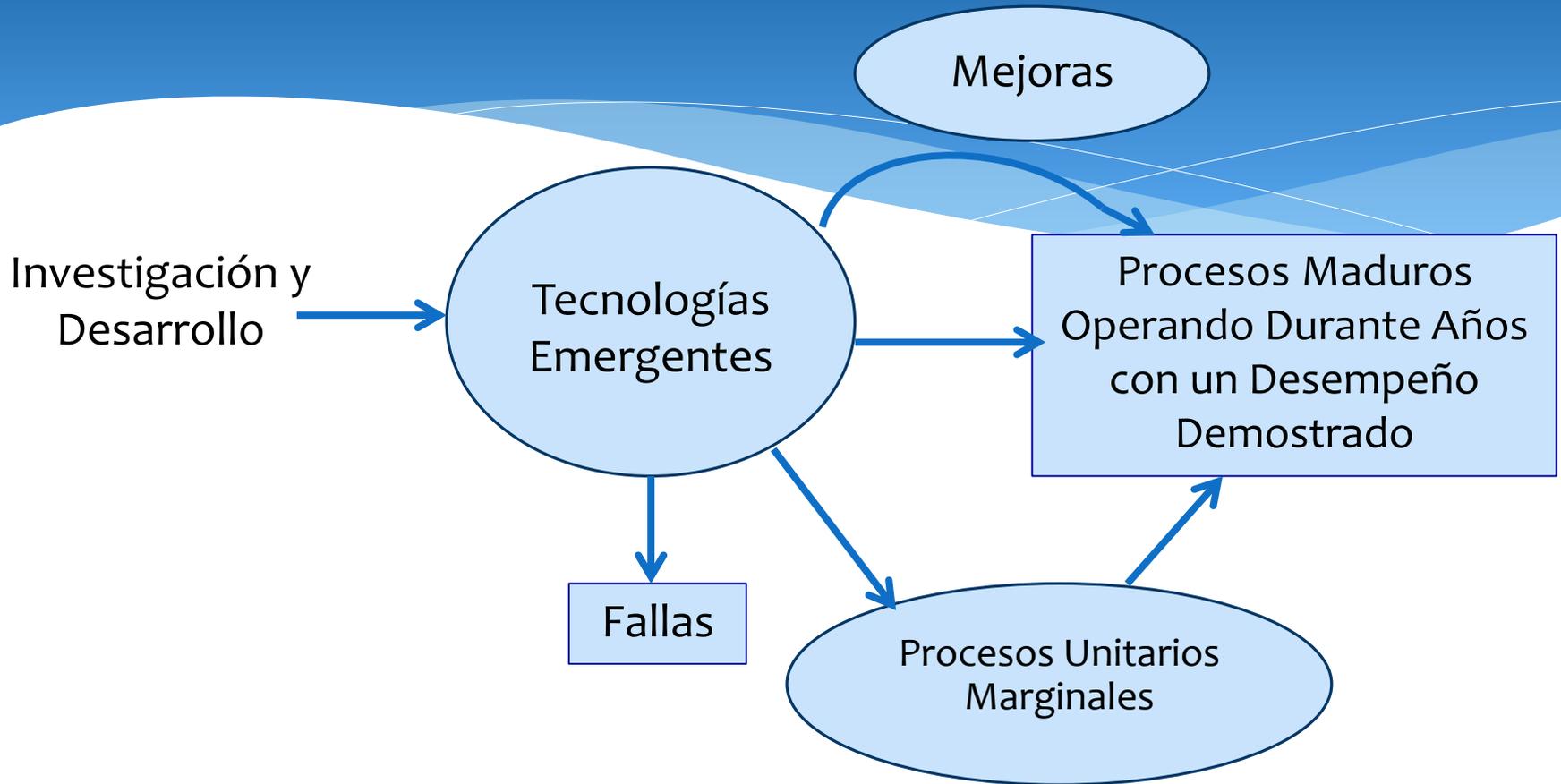
Sedimentación primaria, tratamiento biológico (aeróbico y anaeróbico). Los requerimientos del efluente determinan el nivel de tratamiento

**Los países en vías de desarrollo promueven el uso de tecnologías de bajo costo para áreas rurales pequeñas**

# Nivel de Tratamiento en Áreas Metropolitanas



# Desarrollo del Proceso



**\*Instituciones, vendedores e ingenieros externos que promueven los procesos (selección subjetiva)**

**Meta: Minimizar los riesgos a largo plazo para El Cliente**



“ Be not the first by whom the new is tried, nor yet the last to lay the  
old aside”

“No sea el primero en ensayar lo nuevo, ni tampoco el último en dejar  
a un lado lo viejo”

Alexander Pope

# Tratamiento de las Aguas Residuales

Principales contaminantes en aguas residuales domésticas:

- \* Materiales orgánicos
- \* Nutrientes
- \* Escombros o material grueso
- \* Toxinas

Remoción de contaminantes suspendidos → Tratamiento físico

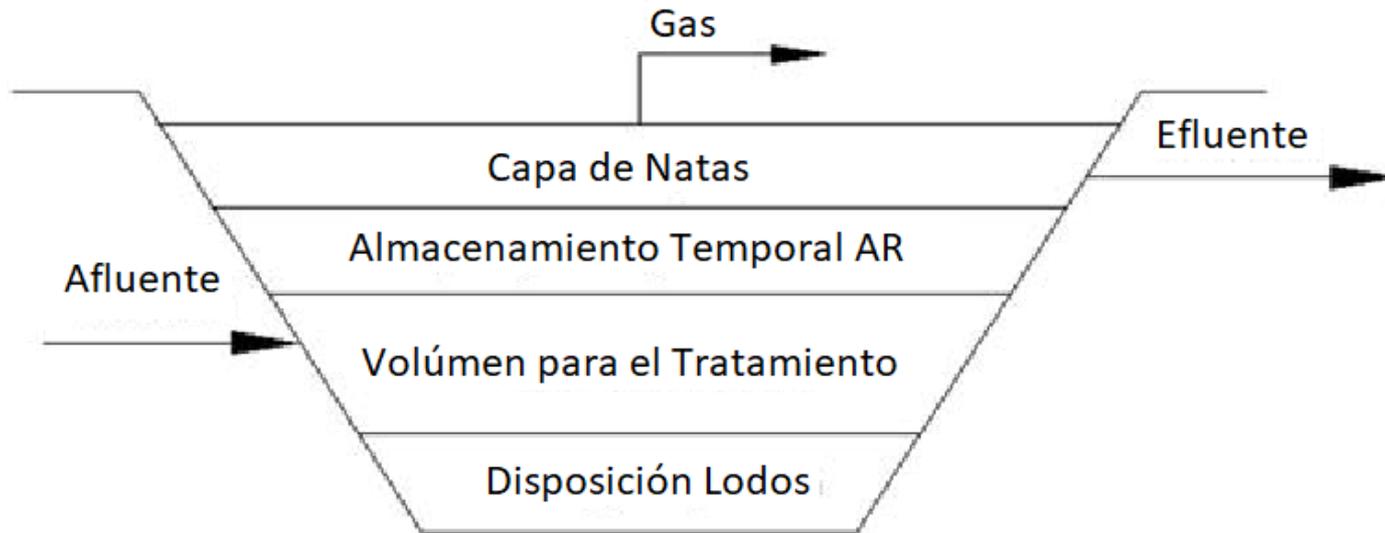
- \* Tamizado
- \* Sedimentación
- \* Flotación
- \* Filtración

Remoción de contaminantes disueltos → Tratamiento biológico y físico

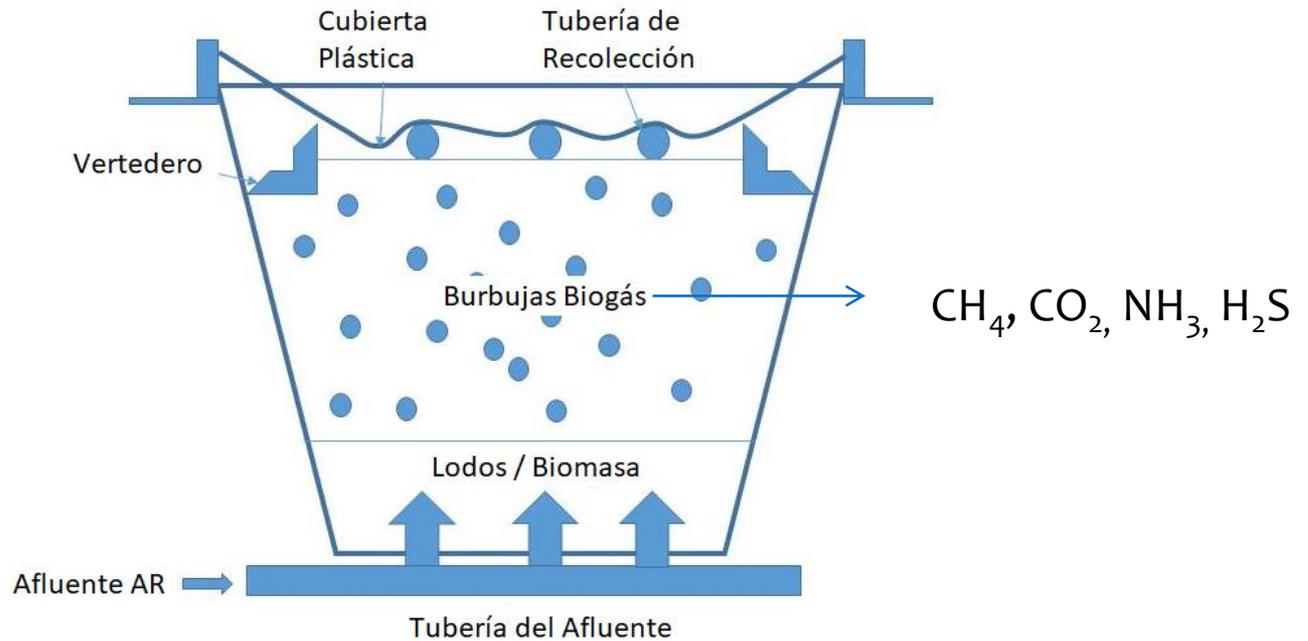
- \* Aerobio
- \* Membranas
- \* Anaerobio
- \* Químico

# Tecnologías de Tratamiento Anaerobio

# Lagunas Anaerobias



# Lagunas Anaerobias



# Lagunas Anaerobias



# Lagunas Anaerobias

## Ventajas

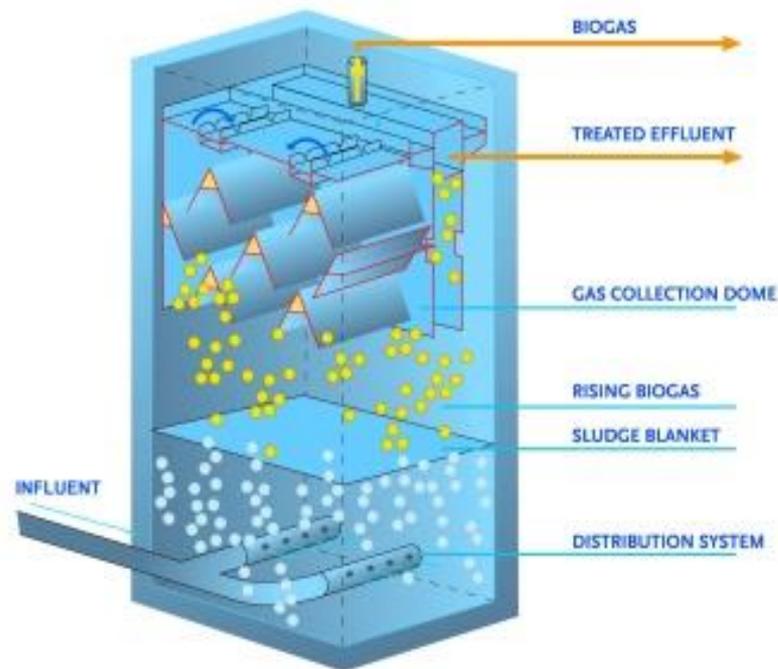
- \* Costos de O&M bajos
- \* Facilidad de operación
- \* Soportan afluentes con cargas orgánicas muy altas
- \* Bajo requerimiento de energía

## Desventajas

- \* Grandes requerimientos de área
- \* Tiempos de retención altos
- \* Requieren un tratamiento adicional – se consideran un pretratamiento para residuos concentrados
- \* Dependen directamente de la temperatura

**No recomendables para Áreas Metropolitanas - Olores**

# Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos (UASB)



Plantas operando en Brasil, Colombia e India

# Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos (UASB)



# Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos (UASB)

## Ventajas

- \* Producción de lodos WAS relativamente bajo.
- \* Calidad de los lodos WAS es muy buena.
- \* Bajo requerimiento de energía.
- \* Alta flexibilidad a las fluctuaciones de las cargas hidráulicas y orgánicas.
- \* Hay poca pérdida de actividad biológica de los lodos cuando se suspende la alimentación.

**Brasil: UASB + Lodos Activados**

## Desventajas

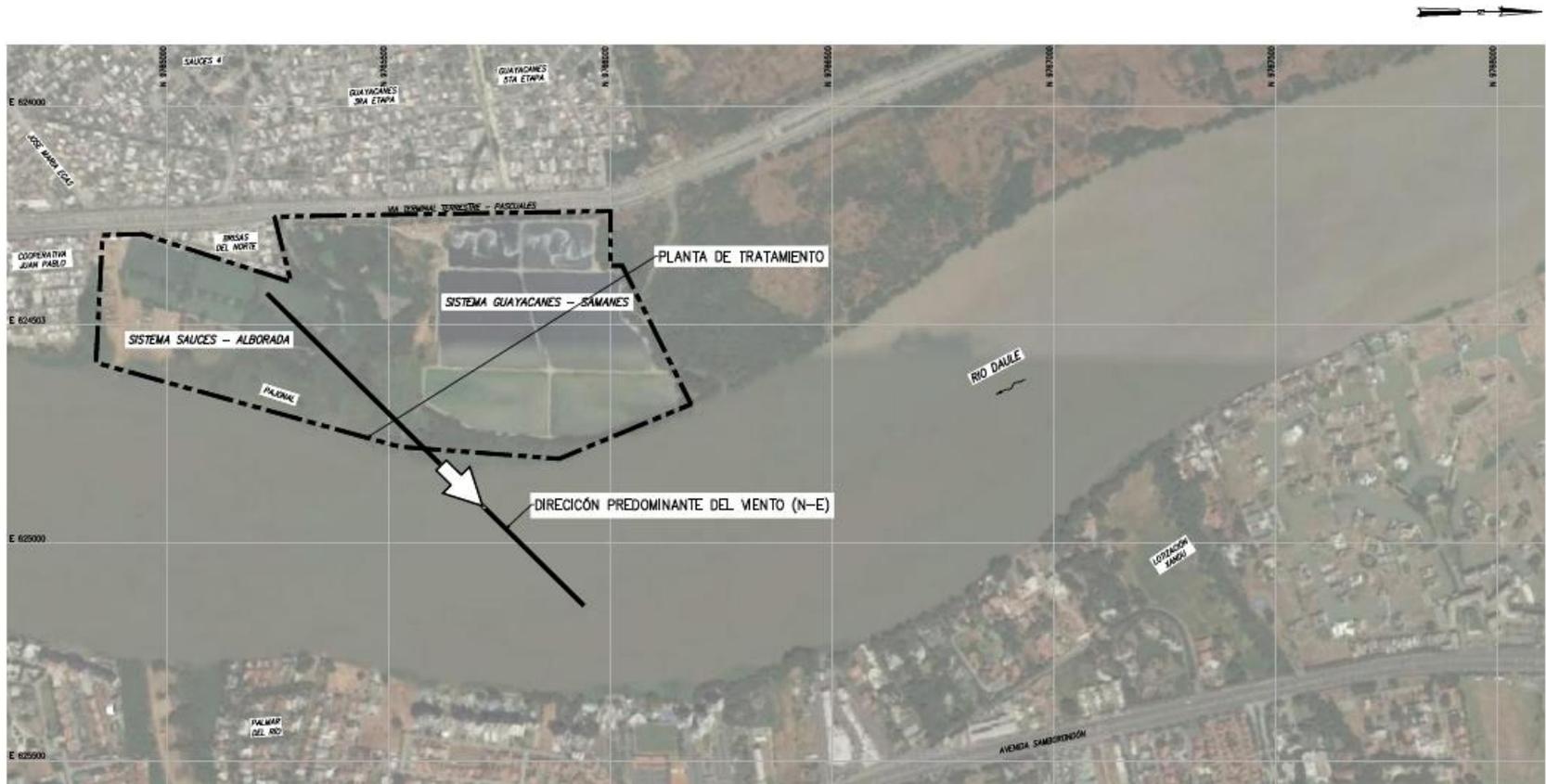
- \* Los lodos anaerobios son susceptibles a varios componentes tóxicos.
- \* En el arranque inicial (2-3 meses) la remoción es apenas mayor a la del tratamiento primario.
- \* El efluente contiene mayores concentraciones de sólidos suspendidos.
- \* Poca remoción de nutrientes (eutroficación).
- \* La remoción de patógenos es muy poca.

# Tecnologías de Tratamiento Aerobio

# Lagunas Aerobias

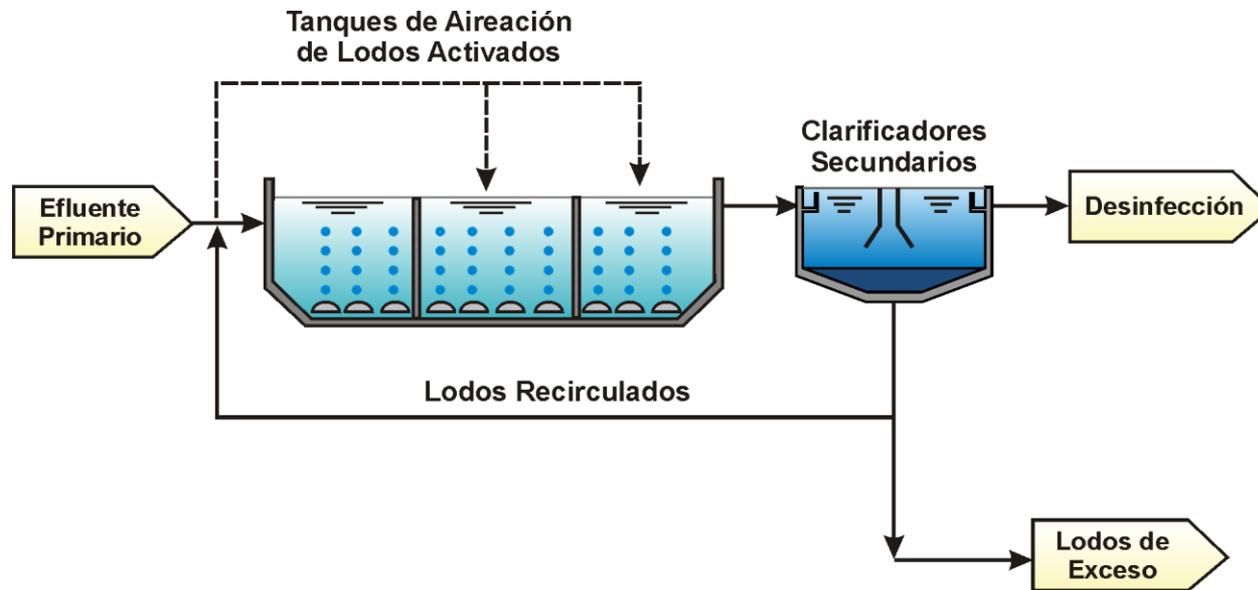
- \* Varias combinaciones de lagunas
  - \* Aireadas
  - \* Facultativas
  - \* Maduración
- \* Una tecnología muy económica y exitosa
- \* Altos requerimientos de área
- \* Usadas para el tratamiento de AR Industriales y Domésticas

# Sistema de Lagunas en Áreas Metropolitanas



**Genera olores ofensivos – Mala decisión**

# Lodos Activados Convencionales



Con más de 70 años de experiencia operativa

# Lodos Activados Convencionales



**Broward County North Regional WWTP**



**Dispositivos de Aireación**

# Lodos Activados Convencionales

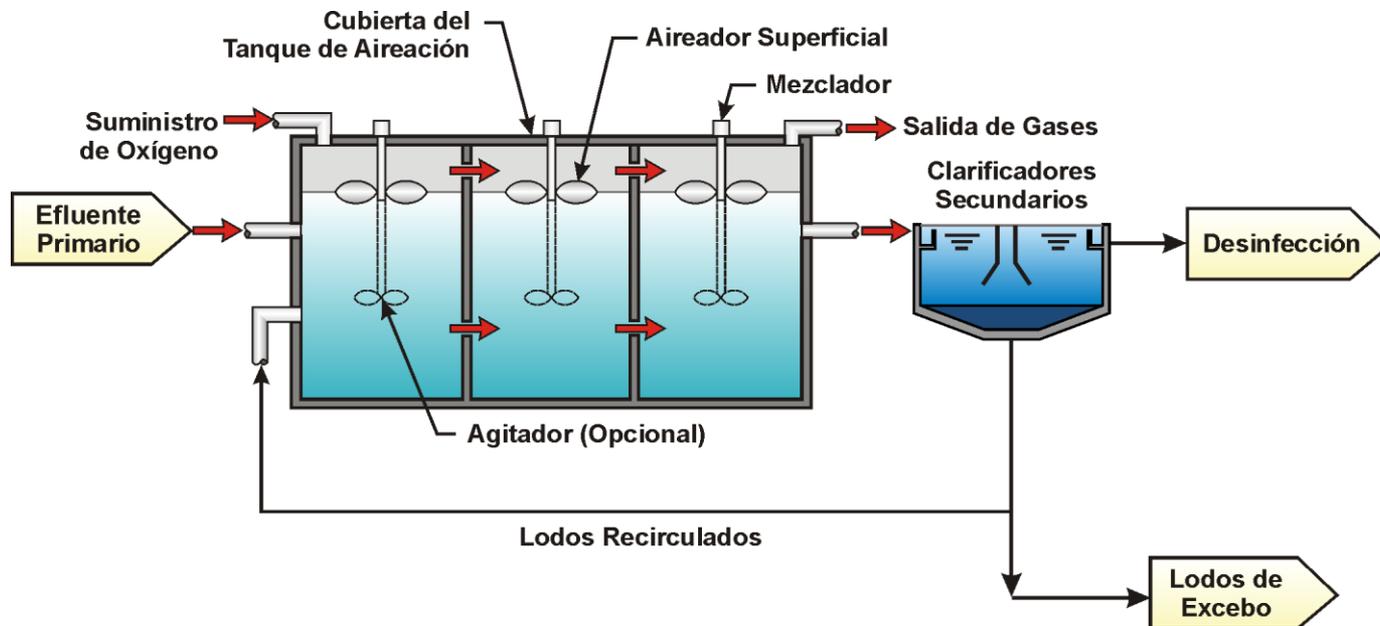
## Ventajas

- \* Bajo costo inicial del sistema.
- \* Buena confiabilidad de las unidades de proceso.
- \* Tecnología más versátil y difundida en todo el mundo
- \* El diseño del reactor como flujo pistón permite mejorar la eficiencia y reducir el área
- \* La aireación escalonada optimiza la distribución de aire en el reactor
- \* Simplicidad Operativa
- \* Flexibilidad o Rendimiento en la Operación
- \* Facilidad para mejorar procesos

## Desventajas

- \* Limitación de la capacidad de carga de DBO.
- \* Pobre distribución de la carga orgánica.
- \* Requerimiento de 4 a 8 horas como tiempo de aireación.
- \* Reacción adversa frente a variaciones extremas de la carga hidráulica, orgánica o tóxica.
- \* Consumo de energía de los compresores mecánicos.
- \* Mantenimiento de los difusores.

# Lodos Activados con Oxígeno Puro



Productores de aire y UNOX promocionaron este proceso en la década de los 80

# Lodos Activados con Oxígeno Puro

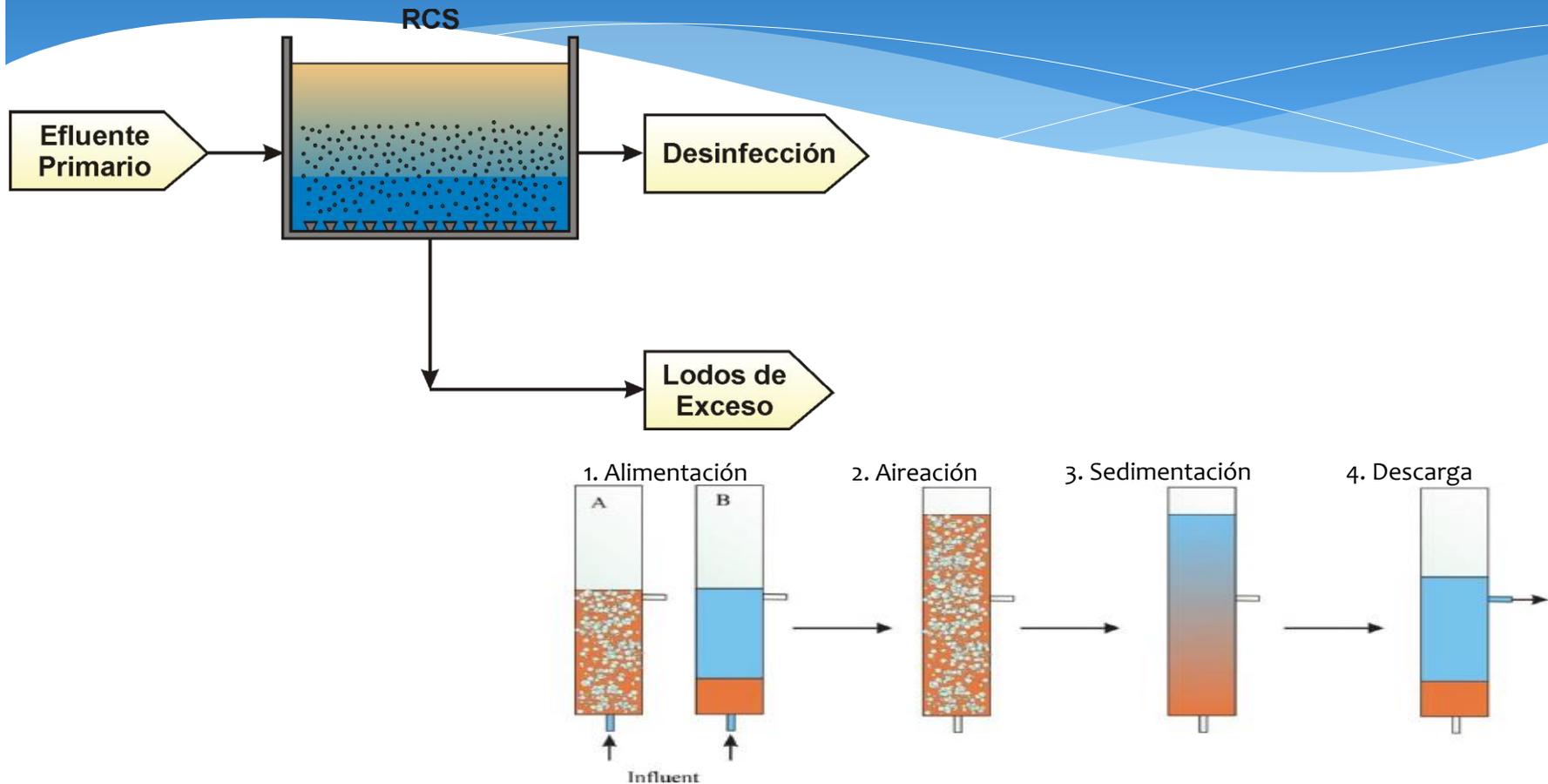
## Ventajas

- \* Reducción de los requisitos de energía para disolver el oxígeno en las aguas residuales.
- \* Reducción de los volúmenes requeridos de los tanques de aireación.
- \* Mejoramiento de la biocinética del sistema de lodos activados.
- \* Capacidad para tratar efluentes con altas concentraciones de DBO soluble.
- \* Adaptabilidad a las variaciones extremas de caudal.
- \* Mejor control de olores.

## Desventajas

- \* Complejidad de la operación.
- \* Alto nivel de mantenimiento y de atención para la operación.
- \* Unidades adicionales para generar oxígeno y almacenamiento de oxígeno líquido.

# Reactores Discontinuos Secuenciales (SBR)



Desarrollada originalmente para PTARs con  $Q \approx 0.1$  a  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  +/-  
PTAR Dublin  $\approx 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  +/-

# Reactores Discontinuos Secuenciales (SBR)



**Instalación con Reactores  
Discontinuos Secuenciales**

# Reactores Discontinuos Secuenciales (SBR)

## Ventajas

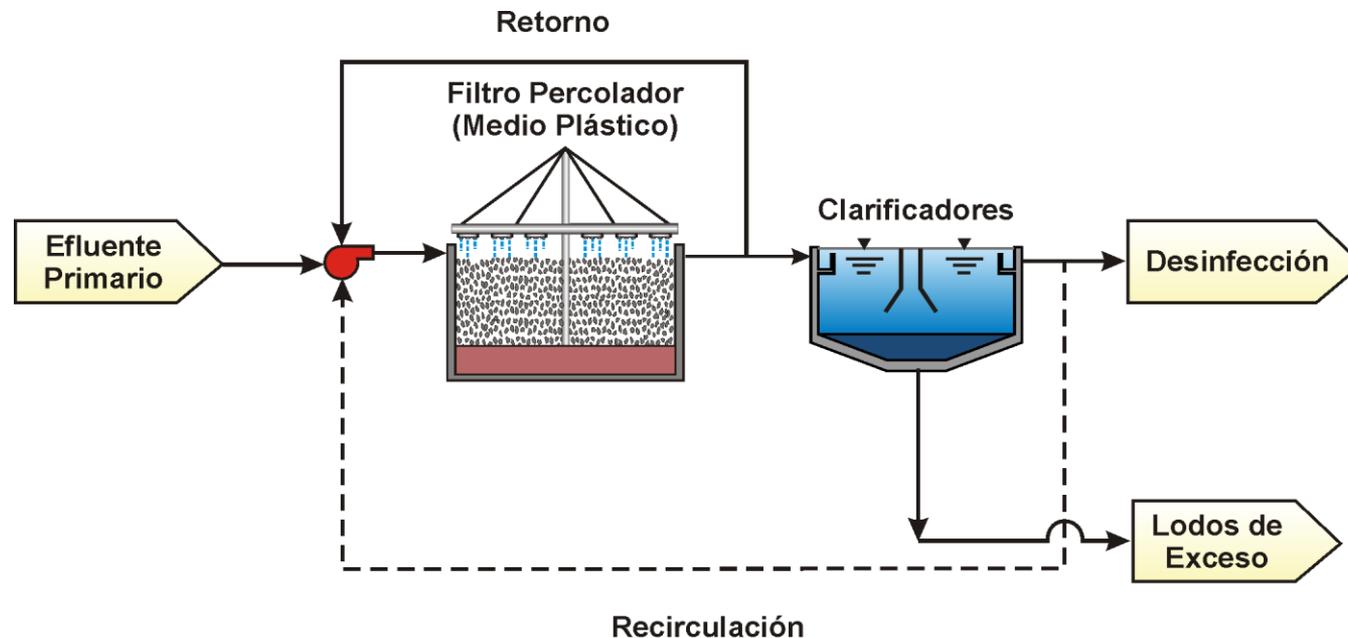
- \* La ecualización, sedimentación primaria, tratamiento biológico, y la sedimentación secundaria se pueden realizar en el mismo tanque.
- \* Flexibilidad y control de operación.
- \* Área de terreno mínima.
- \* Ahorros de costo de capital al eliminar clarificadores y otros equipos.
- \* Puede remover Nitrógeno y Fósforo.

## Desventajas

- \* Se requiere un alto nivel de sofisticación para las secuencias y controles.
- \* Mayor nivel de mantenimiento asociado a controles sofisticados, interruptores y válvulas automáticos.
- \* Potenciales descargas de los lodos flotantes o estabilizados durante la etapa de sedimentación.
- \* Requerimientos de ecualización potenciales después del reactor dependiendo de los procesos posteriores.

**Tecnología viable – Sin clarificadores secundarios**

# Filtros Percoladores

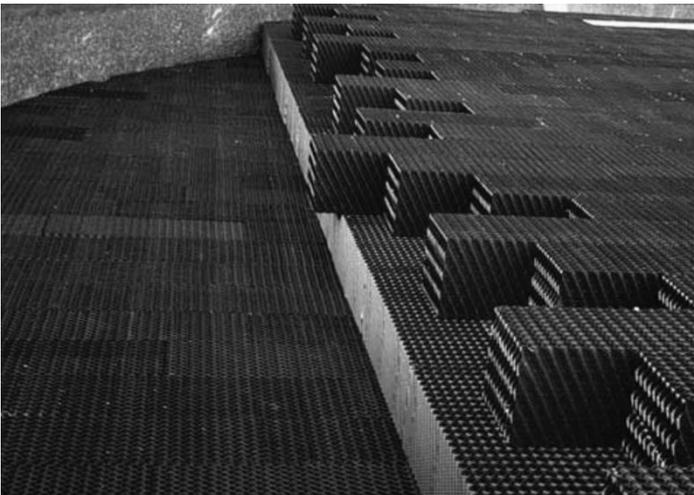


**Mala reputación asociada a medio filtrante rocoso**

# Filtros Percoladores



**Planta de Tratamiento con Filtros Percoladores**



**Annacis WWTP – Vancouver Canadá**

**Instalación del Medio Filtrante**

# Filtros Percoladores

## Ventajas

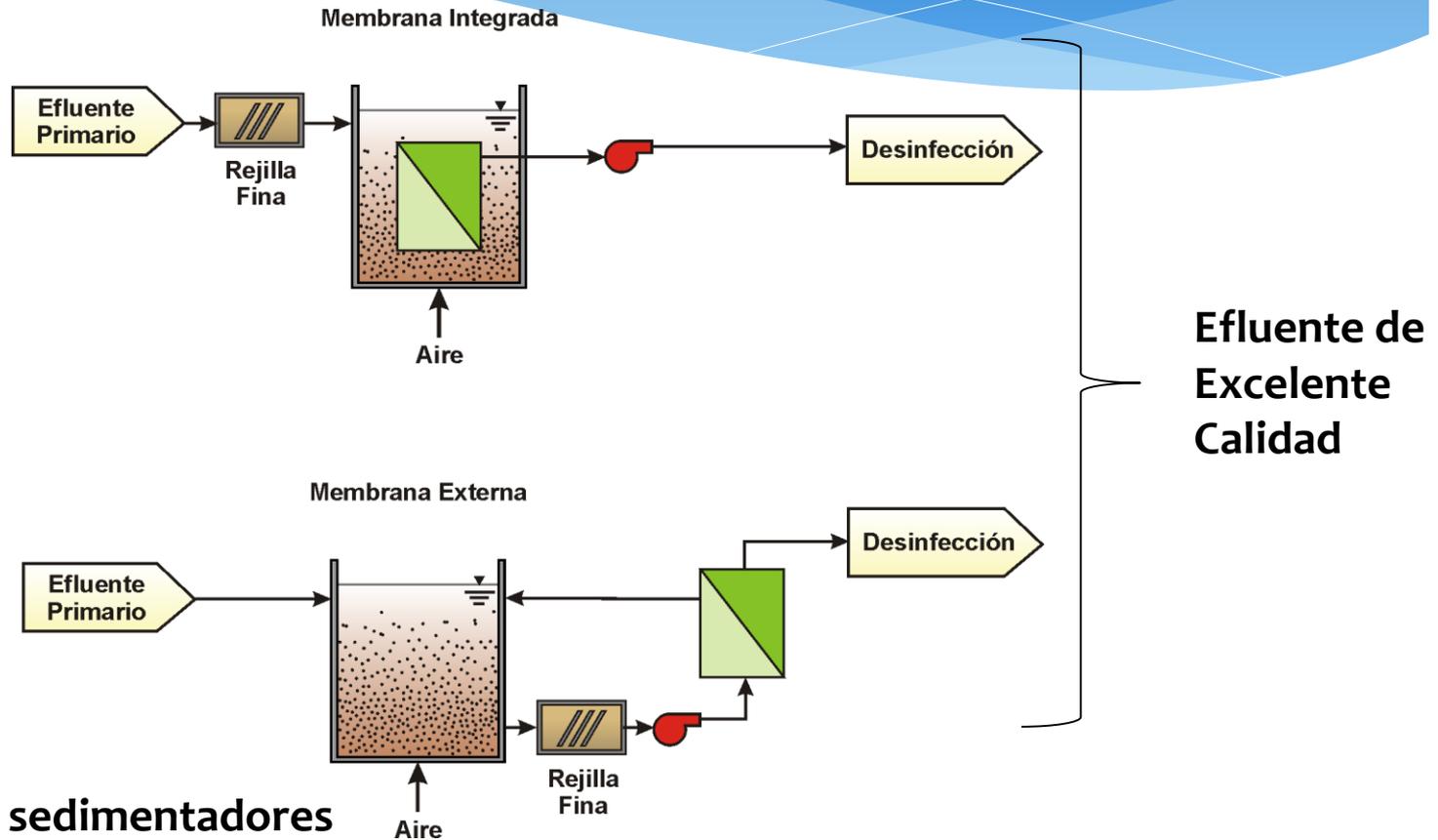
- \* Proceso biológico sencillo y confiable.
- \* Eficaz en el tratamiento de altas concentraciones de material orgánico.
- \* Reduce rápidamente la DBO soluble.
- \* Unidades eficientes de nitrificación.
- \* Duraderos elementos de proceso.
- \* Bajos requerimientos de energía.
- \* Se necesitan niveles moderados de habilidad y experiencia para manejar y operar el sistema.

## Desventajas

- \* Pueden ser necesaria la utilización de tratamientos adicionales para cumplir con normas estrictas.
- \* Puede haber acumulación de exceso de biomasa.
- \* Requiere atención regular por parte del operador.
- \* Alta incidencia de obstrucciones.
- \* Requiere de bajas cargas dependiendo del medio de filtrado.
- \* La flexibilidad y el control son limitados.
- \* Problemas de olores y vectores.
- \* Problemas con caracoles.
- \* Problemas de crecimiento de bacterias filamentosas.

**Tecnología viable con medio filtrante plástico**

# Biorreactores de Membrana (MBR)



# Biorreactores de Membrana (MBR)



**PTAR Aldeno - Italia**

# Biorreactores de Membrana (MBR)

## Ventajas

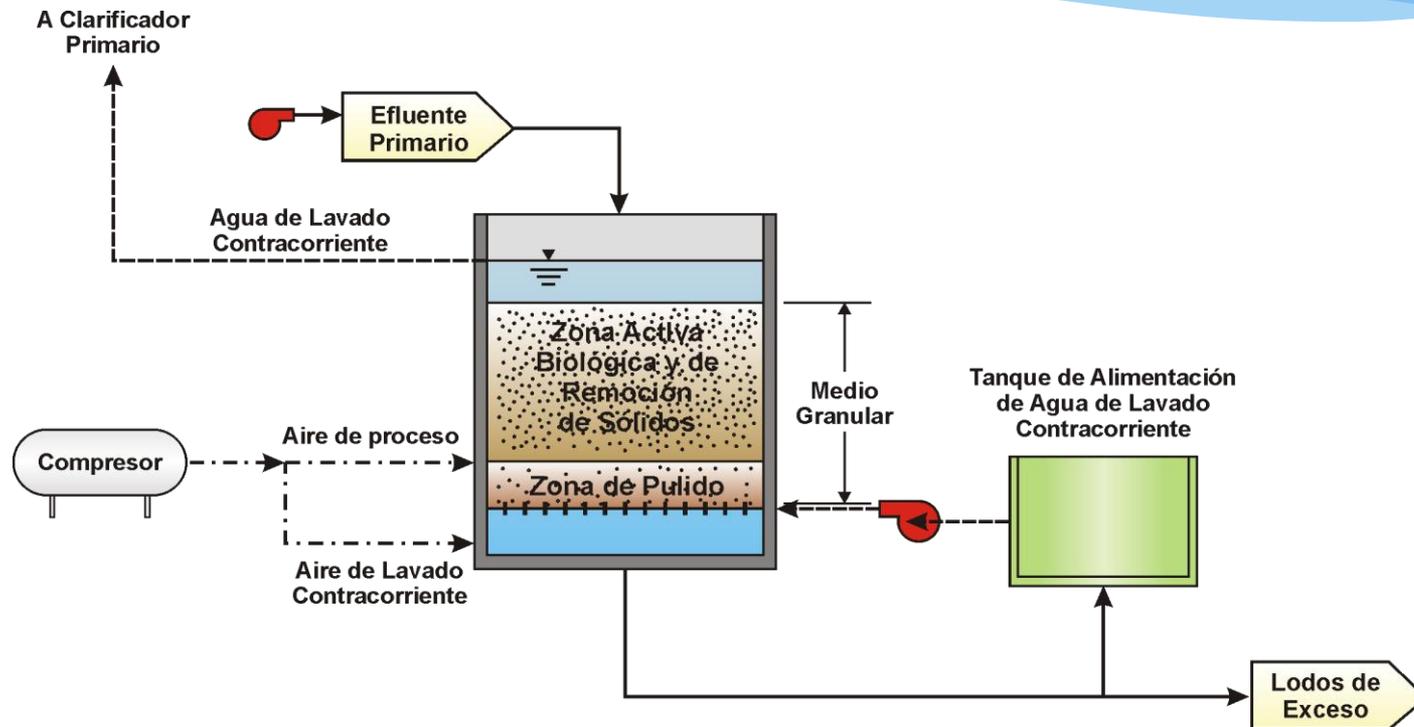
- \* Fácil de automatizar.
- \* Menor necesidad de terreno: cortos tiempos de retención hidráulico, posibilidad de eliminar clarificadores secundarios y permite reducir el volumen del tanque de aireación.
  - \* Potenciales ahorros de costos de capital
- \* Comparativamente, menor generación de lodos.
- \* Baja concentración de bacterias, SST, DBO y Fósforo en el efluente, facilitando altos niveles de desinfección.
- \* Provee flexibilidad y permite la instalación de módulos adicionales para incrementar la capacidad.

## Desventajas

- \* Altos costos de O&M: limpieza de membranas control de ensuciamiento, y remplazos eventuales de las membranas.
- \* Limitaciones hidráulicas por la cantidad de agua tratada que las membranas pueden tratar.
- \* Las condiciones de operación favorecen la producción de espuma.

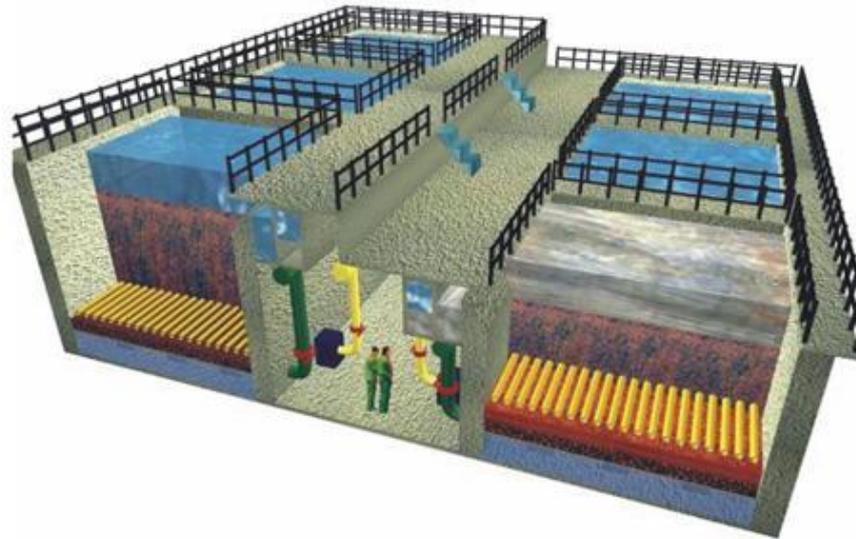
**La remoción del lodo de la membrana es aún un problema**

# Filtro Biológico Aireado (BAF)



**Tecnología de crecimiento adherido**

# Filtro Biológico Aireado (BAF)



# Filtro Biológico Aireado (BAF)

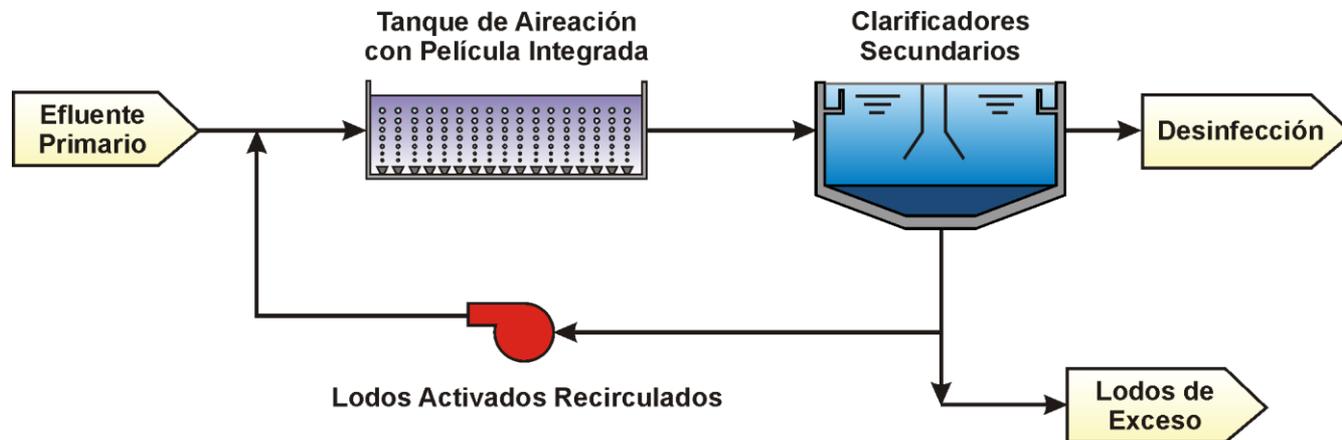
## Ventajas

- \* Se pueden obtener altos niveles de nitrificación.
- \* Reducción de necesidades de terreno como resultado de la reducción de los requerimientos de clarificación secundaria.
- \* Configuración modular, lo que facilita las etapas durante la instalación.
- \* Reducción del número de parámetros que deben ser controlados, permitiendo facilidades de operación.
- \* Experiencia Comprobada
- \* Simplicidad Operacional

## Desventajas

- \* Pocos beneficios en combinación con otros procesos de tratamiento (como filtros percoladores y lodos activados convencionales), lo que limita la posibilidad de ajustes.
- \* Puede requerir reciclar el efluente tratado para reducir las concentraciones de DBO y SST a niveles aceptables.

# Lodos Activados de Película Fija Integrada (IFAS)



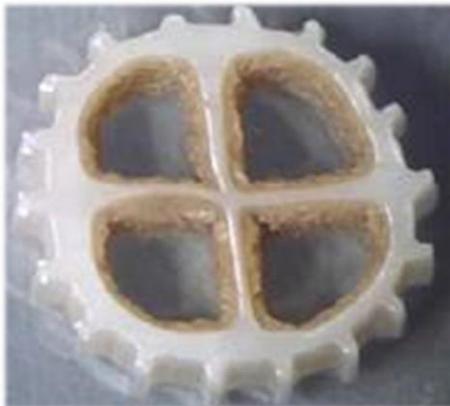
**Tecnología de crecimiento adherido**

# Lodos Activados de Película Fija Integrada (IFAS)



Los medios filtrantes típicos son:

- Kaldnes (plástico)
- Linpor (esponja)
- Ringlace (cuerdas)



# Lodos Activados de Película Fija Integrada (IFAS)

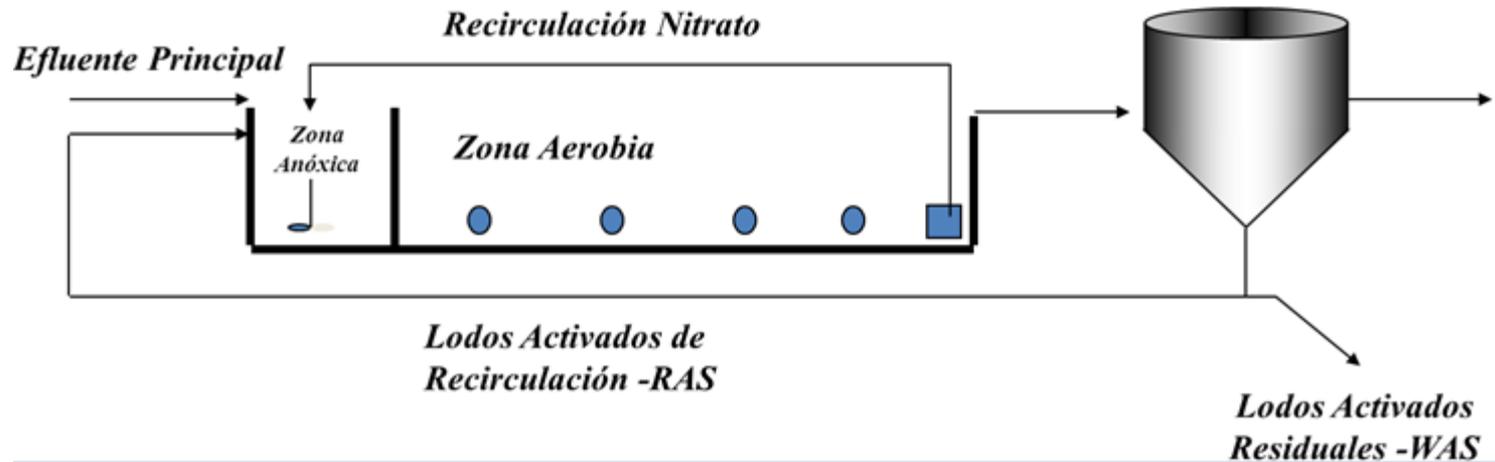
## Ventajas

- \* Mayor capacidad por volumen comparada con los lodos activados convencionales
- \* Aumenta la biomasa sin aumentar la carga a los clarificadores
- \* Resiembra de la fase suspendida

## Desventajas

- \* Requiere soporte adicional comparado con los sistemas convencionales de lodos activados
- \* Filtrado de medio de retención
- \* Diferentes medios de aireación son requeridos dependiendo de la tecnología utilizada
- \* Mayor número de aireadores son necesarios dado al aumento de la biomasa en el medio
- \* Necesitan filtros con aberturas más finas para proteger el medio
- \* Requiere control de la biopelícula
- \* Requiere el manejo y el mantenimiento del medio
- \* Requiere trampas de espuma para problemas de espuma en la superficie

# Proceso Ludzak Ettinger Modificado (MLE)



# Proceso Ludzak Ettinger Modificado (MLE)

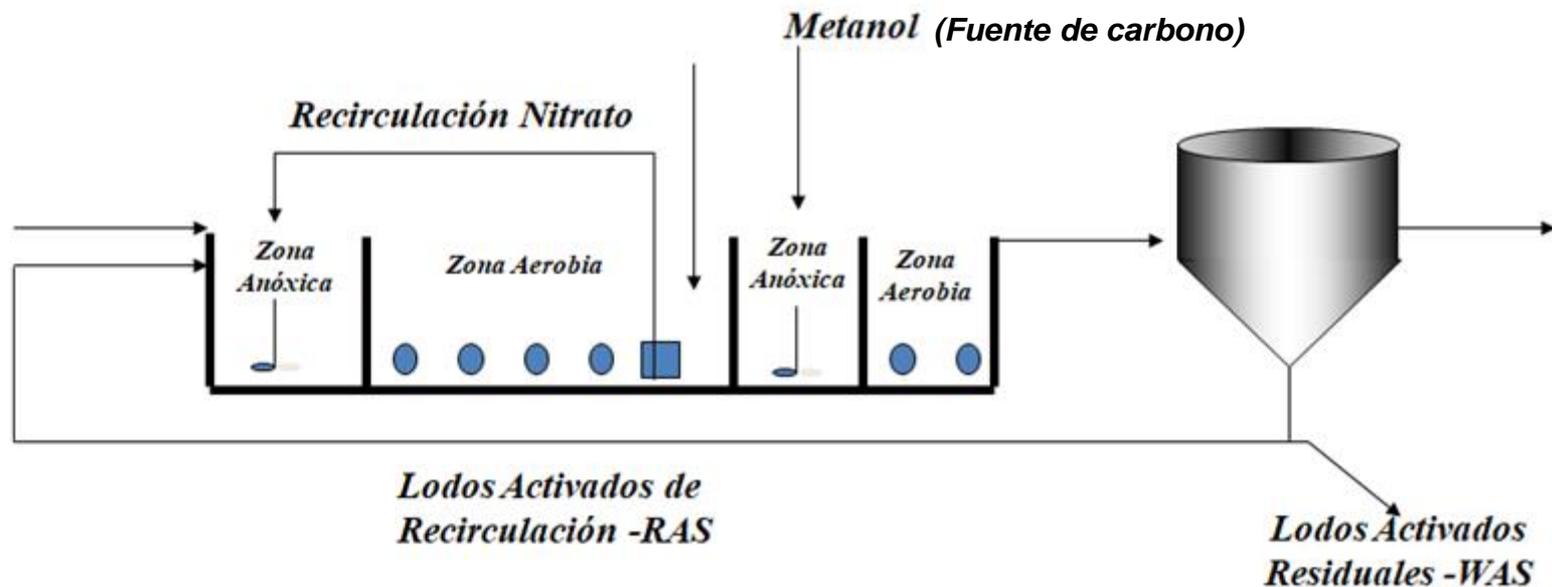
## Ventajas

- \* Uso de la fuente de carbono disponible en el afluente para realizar el proceso de desnitrificación.
- \* Costos de O&M bajos por el aprovechamiento de la fuente de carbono.
- \* Configuración sencilla.
- \* Reducción necesidad de terreno.
- \* Tecnología comprobada.

## Desventajas

- \* Operación compleja y precisa - control apropiado de los tiempos de retención en la zona anóxica para mantener una masa de nitrobacterias suficiente que pueda remover los Nitratos sin ser lavados por el sistema.
- \* Remoción de Nitrógeno limitada – depende de la cargas de nitrógeno a la entrada
- \* Recirculación del nitrato aumenta el requerimiento energético
- \* No hay remoción de Fósforo

# Remoción de Nitrógeno en 4 estaciones (Bardenpho)



¡El Metanol es costoso!

# Remoción de Nitrógeno en 4 estaciones (Bardenpho)

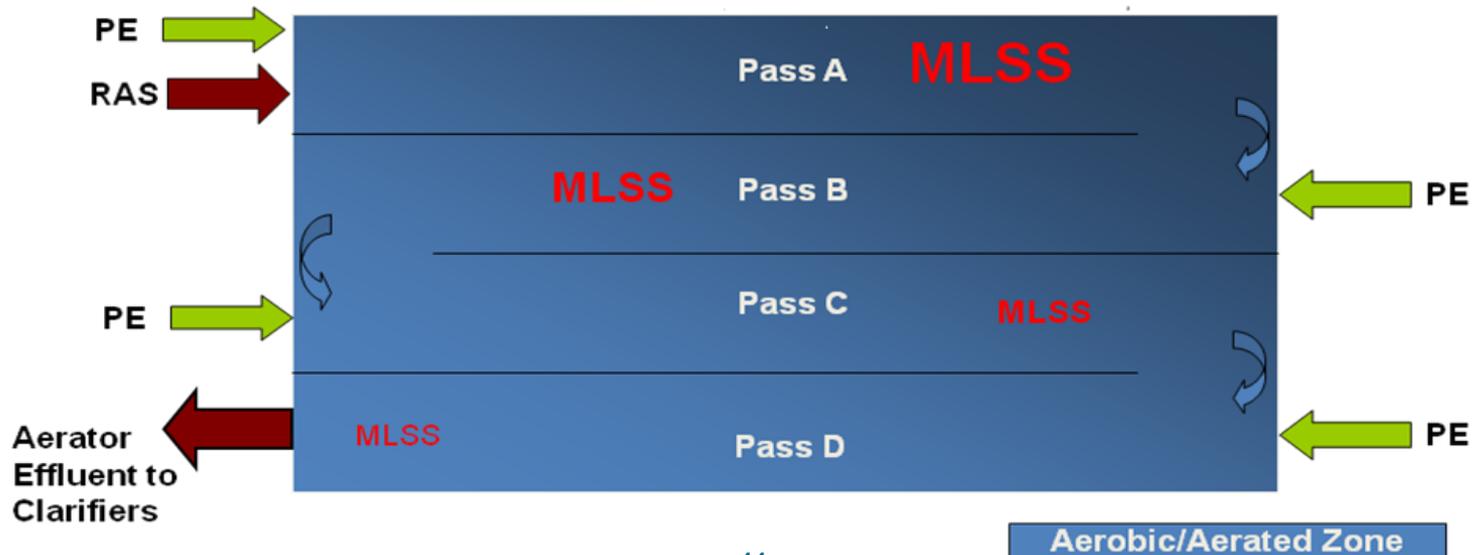
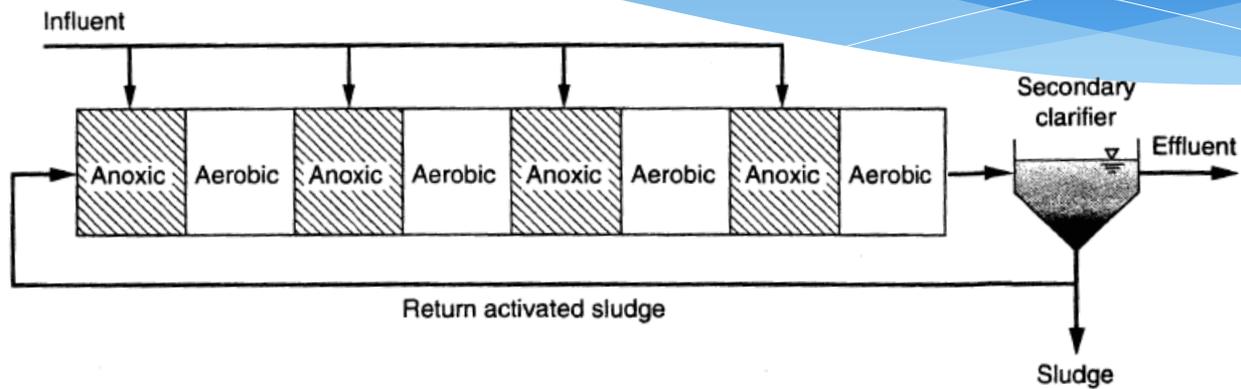
## Ventajas

- \* Bajas concentraciones de NT en el efluente.
- \* Tecnología comprobada.
- \* Es posible aumentar la capacidad de nitrificación modificando los niveles de aireación.
- \* Sistema cuenta con buena flexibilidad.

## Desventajas

- \* Solo remoción de Nitrógeno
  - \* Remoción de Fósforo incidental
- \* Costos de construcción y O&M altos debido al sistema adicional para recircular el caudal y por la adición del tren adicional de desnitrificación.
- \* Requiere fuente de carbono adicional cuando las concentraciones de DBOc son bajas después de la primera zona anóxica.
- \* Posible flotación de lodos debido a la desnitrificación del nitrato residual
- \* Operación compleja.
- \* Requerimientos de espacio altos.

# Lodos Activados con Alimentación Escalonada



# Lodos Activados con Alimentación Escalonada

## Ventajas

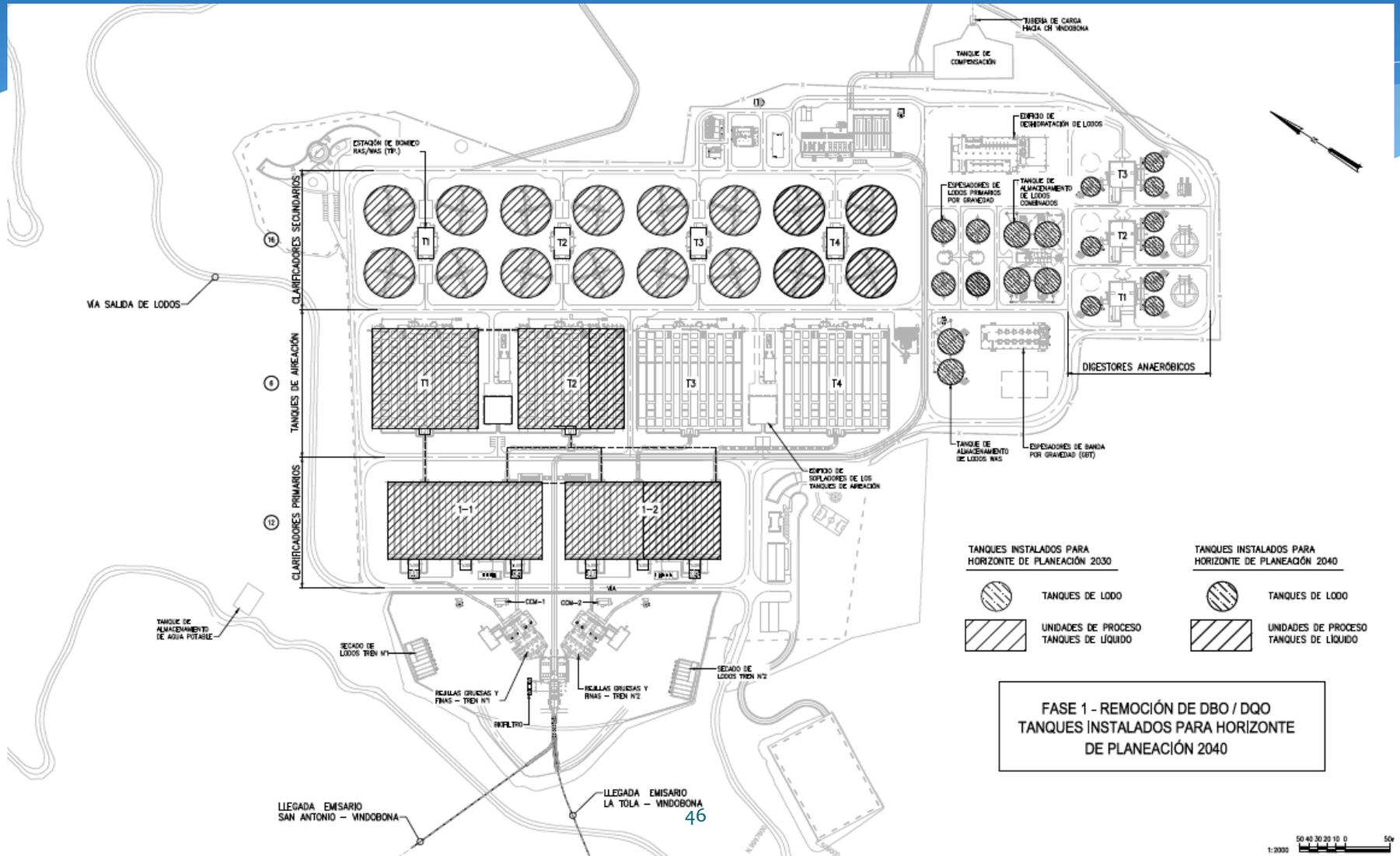
- \* Reducción de volumen vs. sistema tradicional.
- \* Costos de capital y de O&M razonables.
- \* Mayores Tiempo de Retención de Sólidos (SRT) con almacenamiento de lodos en la parte frontal.
  - \* Mejora la eficiencia.
- \* Menor concentración de sólidos al final del tanque de aireación, disminuyendo la Carga de Sólidos en los tanques de sedimentación secundaria.
- \* Buena confiabilidad de las unidades de proceso.
- \* Flexibilidad de operación particularmente para caudales picos.
- \* Extensamente probado a nivel mundial y en plantas de gran tamaño

## Desventajas

- \* Limitación de la capacidad de carga de DBO.
- \* Sensible a variaciones extremas de la carga hidráulica, orgánica o tóxica.
- \* Complejidad operacional media.

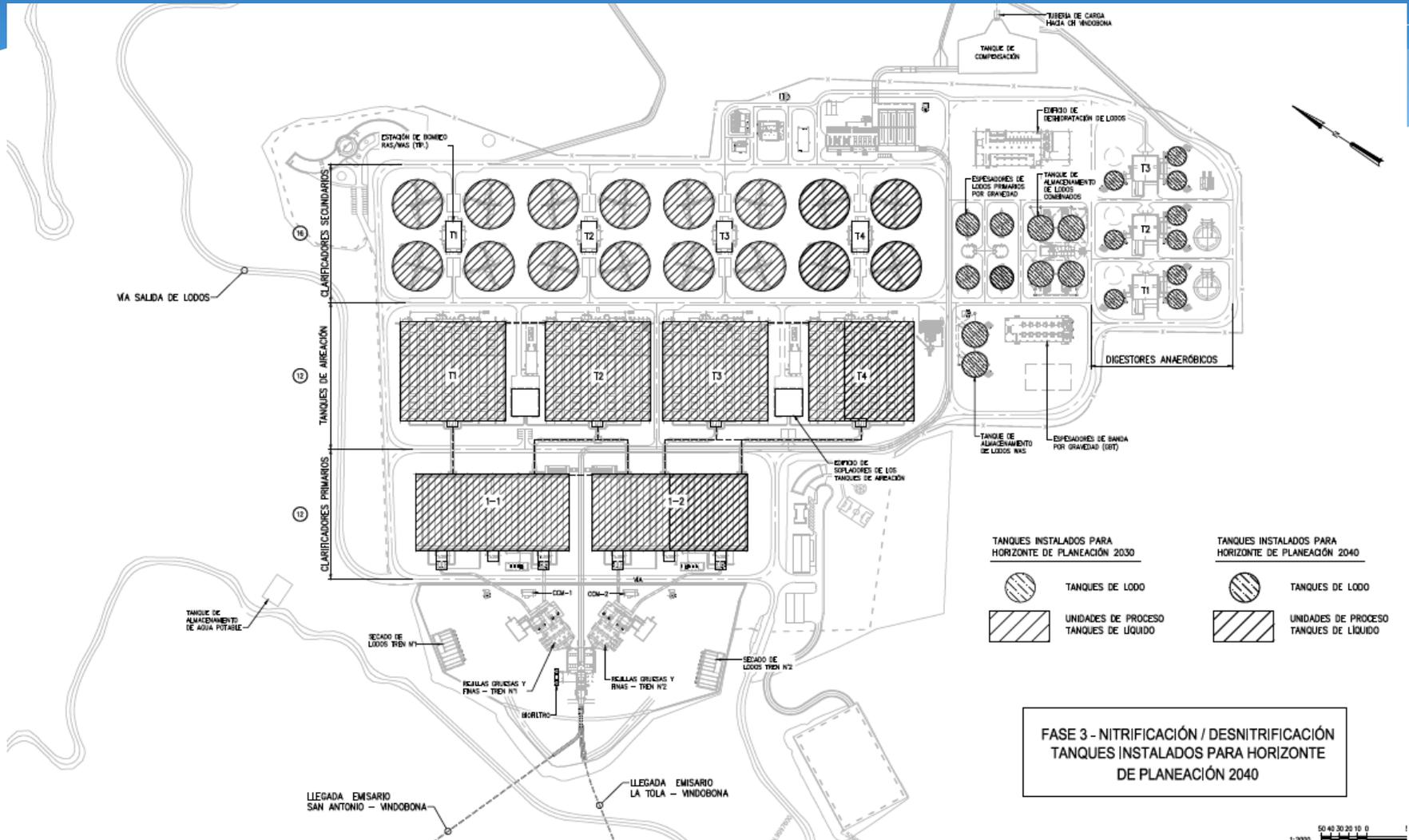
**PTAR de Quito se diseñó con esta tecnología**

# Quito – Remoción DBO





# Quito – Desnitrificación



# PTAR Salitre - Bogotá

- \* Flexibilidad para añadir tecnologías como MLE, IFAS o MBR en los tanques existentes
- \* Reservar área para unidades de proceso adicionales que permitan cumplir requerimientos en el efluente en el futuro es más económico

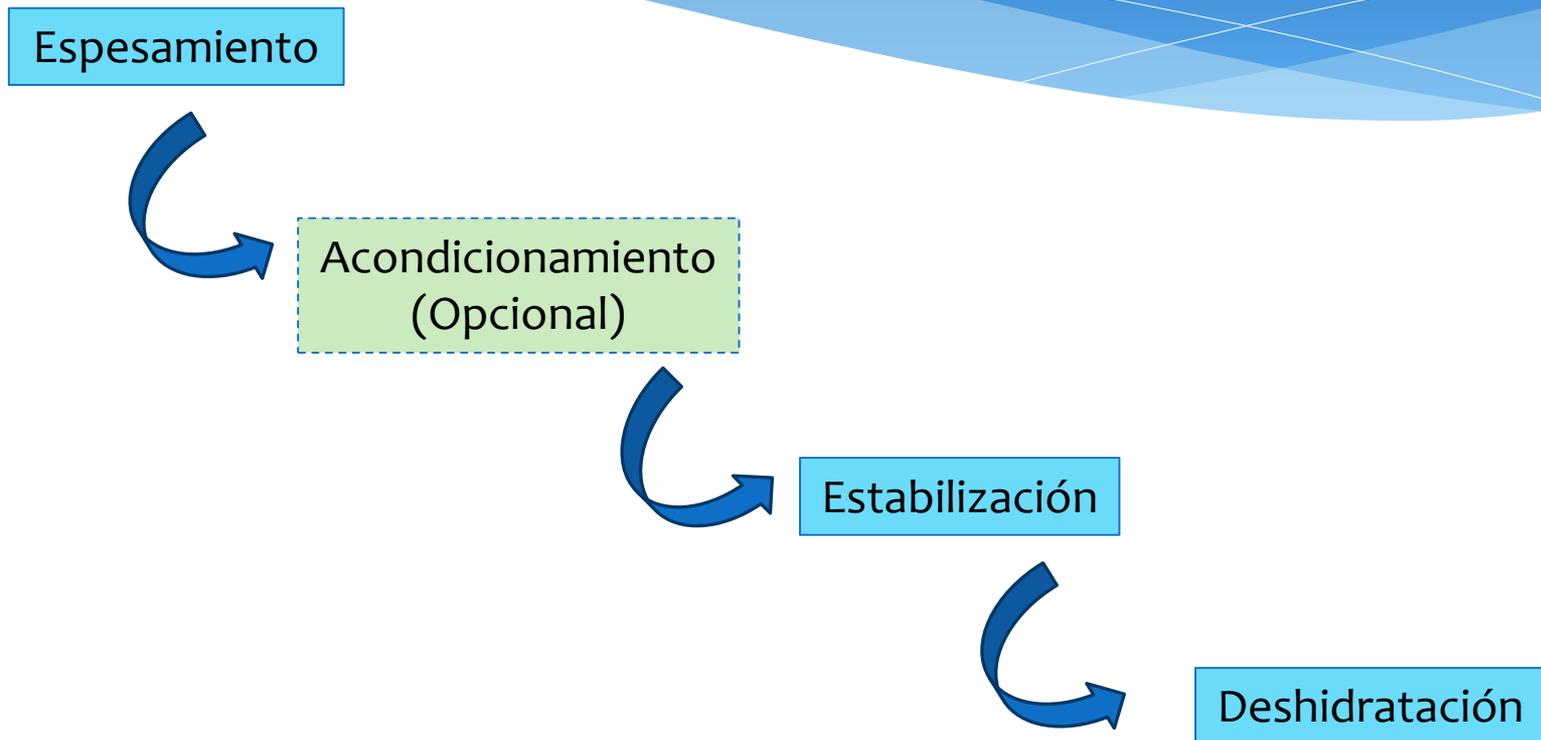
# PTAR Salitre - Bogotá



# Alternativas de Tratamiento de Lodos

# Tren Típico de Tratamiento de Lodos

# Tratamiento de Lodos – Tren Típico



\* El acondicionamiento no debe hacerse necesariamente en el orden indicado en la figura

# Espesamiento

# Espesamiento

Objetivo: Disminuir el contenido de agua hasta alcanzar una concentración de  $\pm 4\%$  - 5% para facilitar los procesos posteriores

Ejemplos de tecnologías:

- Espesamiento por gravedad
- Filtros de Banda por Gravedad (GBT)
- Flotación por Aire Disuelto (DAF)

# Espesamiento por Gravedad



**PTAR El Salitre - Bogotá**

# Espesamiento por Gravedad

Tanques generalmente circulares en donde se deja asentar el lodo gracias a la acción de la fuerza de gravedad.

## Ventajas:

- Simple
- Bajo costo operativo (mínimo consumo de energía y baja atención por parte del operador)
- También provee almacenamiento
- Ideal para lodos primarios

## Desventajas:

- Potencial de generación de olores (Requiere instalación de cubiertas)
- Altos requerimientos de área
- No es muy buena para lodos biológicos

# Espesadores de Banda por Gravedad (GBT)

El espesamiento se realiza por gravedad en máquinas, sobre una banda sintética, con asistencia por medio de polímero, y por medio de ayuda mecánica.

## Ventajas:

- Requerimiento de espacio bajo
- Costo relativamente bajo y bajo consumo de energía
- Alta captura de sólidos

## Desventajas:

- Requiere limpieza continua
- Requiere aplicación de químicos
- Potencial de corrosión

# Espesadores de Banda por Gravedad



# Flotación por Aire Disuelto (DAF)

El espesamiento se realiza en tanques en donde se aplica aire para la flotación del lodo

## Ventajas:

- Muy buena eficiencia con lodos biológicos
- No necesita acondicionamiento con químicos
- Proceso relativamente simple

## Desventajas:

- Potencial de generación de olores
- Consumo de energía relativamente alto
- Alto requerimiento de espacio al comparar con otros métodos mecánicos

# Flotación por Aire Disuelto (DAF)



**Genera Olores Ofensivos**

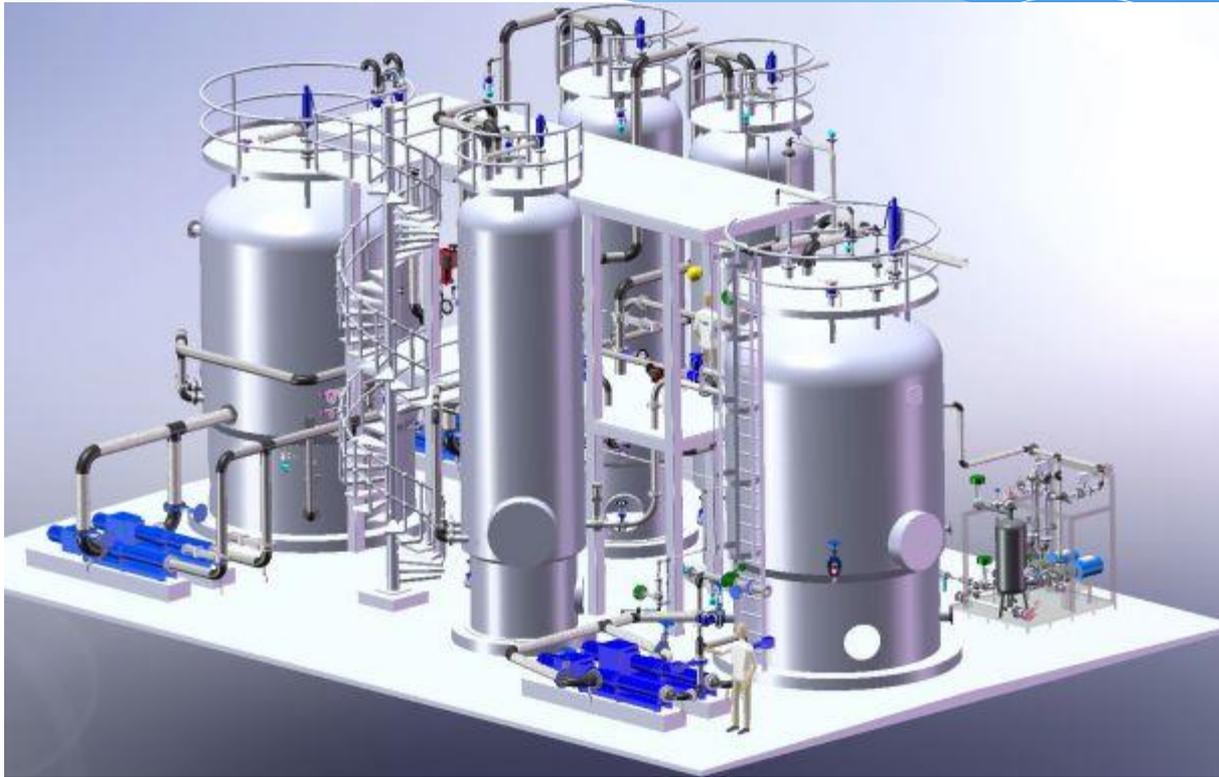
# Acondicionamiento

# Acondicionamiento

Objetivo: Mejorar las características del lodo para facilitar su estabilización o su deshidratación.

-Hidrólisis Térmica – Tecnología nueva propuesta para PTAR  
Canoas en Bogotá

# Hidrólisis Térmica



**Similar a una Planta de Generación de Energía**

# Hidrólisis Térmica

Se mejora la digestibilidad y el potencial de deshidratación del lodo al aplicar altas presiones y temperaturas.

## Ventajas:

- Se logran mayores concentraciones de sólidos en el lodo a ser estabilizado
- Se incrementa la producción de biogás
- Se logra desinfección de lodo

## Desventajas:

- Altos costos energéticos
- Proceso patentado. 1 o 2 proveedores confiables
- Proceso complicado con altos requerimientos de capacitación del personal

# Estabilización

# Estabilización

Objetivo: Disminuir el contenido de patógenos, el potencial de putrefacción y el potencial de generación de olores.

Ejemplos de tecnologías:

- Digestión Anaeróbica
- Digestión Aeróbica
- Compostaje

# Digestión Anaerobia



# Generación de Energía



Biogás Producido en Biodigestores (Metano)



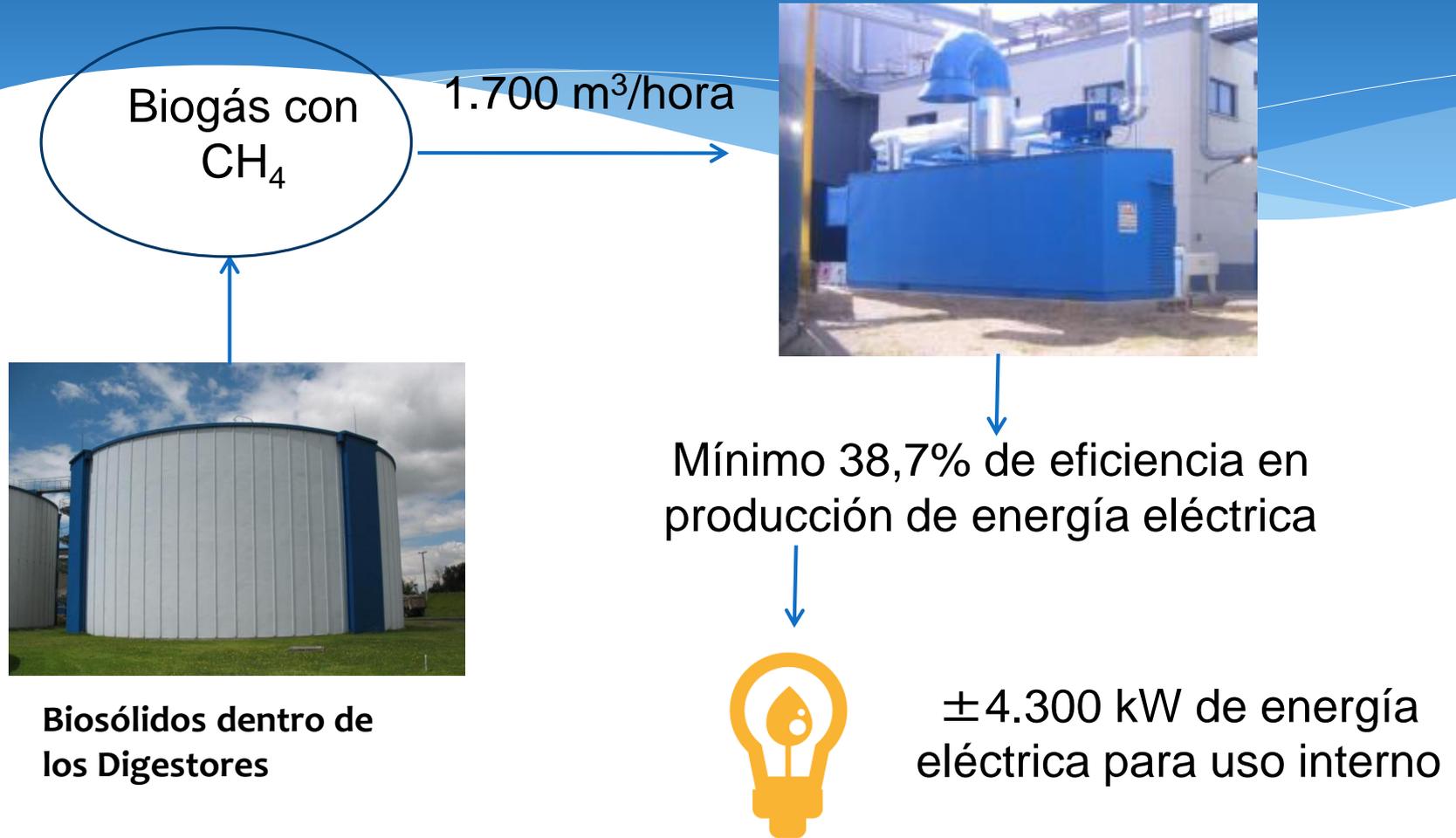
Gasómetros



Generación de Energía

Calentamiento

# PTAR El Salitre



Se supliría un 30-40% de la demanda de la PTAR

# Digestión Anaerobia

Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular. Se realiza en tanques de gran tamaño, con tiempos de retención prolongados.

## Ventajas:

- Simple y de amplia aplicabilidad (uno de los métodos más antiguos y estudiados)
- Bajo costo operativo (bajo consumo de energía)
- Buena destrucción de sólidos volátiles y reducción de la masa de lodo
- Genera gas metano que a su vez se usa como combustible para cogeneración

## Desventajas:

- Requiere habilidad por parte de los operadores
- Altos costos iniciales (construcción)
- Potencial de generación de olores<sup>71</sup>

# Digestión Aerobia

Degradación de la materia orgánica inyectando oxígeno al proceso. Se realiza en tanques de menor tamaño en comparación con los anaeróbicos.

## Ventajas:

- Muy bajo potencial de generación de olores
- Operación simple
- Buena destrucción de sólidos volátiles y reducción de la masa de lodo

## Desventajas:

- Sólidos generalmente más difíciles de deshidratar
- Altos costos de energía (aireación)
- Baja aplicabilidad para plantas de gran tamaño

**No es una tecnología viable en PTARs grandes**

# Compostaje

Conformación de pilas en las que la materia orgánica se estabiliza dando lugar a la formación de abonos orgánicos, en largos periodos de estabilización.

## Ventajas:

- Simple y de bajo costo
- Abono de alta calidad

## Desventajas:

- Requiere inyección de aire o volteo manual
- Grandes requerimientos de área
- Potencial de olores y atracción de vectores

**Tecnología viable después de Digestión Anaeróbica y Deshidratación de Lodos**

# Compostaje



# Deshidratación

# Deshidratación

Objetivo: Retirar el mayor contenido posible de agua por métodos mecánicos para facilitar la disposición final. Concentraciones de sólidos superiores al 25%.

Ejemplos de tecnologías:

- Centrifugación
- Filtros Prensa de Bandas
- Filtros Prensa de Placas
- Secado Térmico

# Centrifugación



**Máquina opera a altas velocidades  
(+/- 3000 rpm)**



# Centrifugación

Aplicación de altas fuerzas centrífugas mediante máquinas que rotan a alta velocidad separando la fase líquida de la fase sólida.

## Ventajas:

- Proceso muy eficiente
- Baja generación de olores
- Operación confiable

## Desventajas:

- Vibración y ruido
- Alto desgaste de las piezas de las máquinas

# Deshidratadores de Banda por Gravedad



# Filtros Prensa de Placas

Se extrae el agua mediante máquinas que aplican altas presiones al lodo, exprimiéndolo.

## Ventajas:

- Proceso muy eficiente
- Baja generación de olores

## Desventajas:

- Alto requerimiento de área por unidad de masa procesada
- Alto costo de capital por unidad de masa procesada
- Limitada capacidad para grandes cantidades de sólidos

# Filtros Prensa de Placas



# Secado Térmico

Se aplican altas temperaturas al lodo para evaporar el agua

## Ventajas:

- Se logra desinfección del lodo
- Proceso muy efectivo
- Alto potencial de re-uso del lodo

## Desventajas:

- Alto consumo de energía
- Alto costo de capital
- Equipos complejos que requieren alta capacitación del personal

**Este proceso evapora el agua presente en el lodo**

# Secado Térmico





“ Be not the first by whom the new is tried, nor yet the last to lay the old aside”

“No sea el primero en ensayar lo nuevo, ni tampoco el último en dejar a un lado lo viejo”

Alexander Pope

¡Gracias por su  
atención!