



Guía para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales municipales para facilitar la toma de decisiones, con enfoque en la reducción de emisiones de GEI

Prefacio

La **Guía de Selección** que se presenta en este documento está concebida para **orientar** y **facilitar** al usuario no experto en el tema -conforme con la situación particular del proyecto a desarrollar-, en la toma de decisiones **preliminar** en cuanto al **proceso** más adecuado para tratar aguas residuales **de carácter municipal**.

En este sentido, la guía no pretende sustituir un proceso de selección riguroso y detallado, el cual debe incluir necesariamente una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual a tratar, tanto en los meses de estiaje como en los de lluvias, así como consideraciones en cuanto al precio del terreno donde se ubicará la planta de tratamiento y sus características topográficas y geofísicas. En principio, la guía asume un terreno natural razonablemente plano, donde no es necesario excavar en roca ni mejorar el terreno de manera exhaustiva.

Se asume que las cuestiones relacionadas con la conducción del agua residual a la planta están resueltas, de modo que no se incluye ningún concepto relacionado con el alcantarillado y drenaje requeridos.



Presentación

La toma de decisiones para efectuar proyectos de Plantas de Tratamiento de **Aguas Residuales Municipales** involucra el considerar gran cantidad de factores y criterios, como las condiciones ambientales; los factores geofísicos (terreno disponible, estabilidad del terreno); los factores económicos (costos de inversión, de operación y financieros) y con una prioridad cada vez mayor, el abatimiento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con fin de aliviar el problema del cambio climático de este planeta. Esta **Guía para la selección de procesos** se diseñó para apoyar la evaluación de proyectos de saneamiento desde un enfoque de **Mitigación del Cambio Climático** que sea favorecedor para el **Desarrollo Sostenible**, aunque sin dejar de lado criterios de cumplimiento de la normativa ambiental mexicana y de viabilidad técnico-económica.

El presente Folleto Descriptivo y su libro de MS Excel© complementario son herramientas de apoyo para evaluar las posibilidades de trenes de tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales de carácter municipal. Los procesos recomendados y sus combinaciones abaten emisiones gaseosas de forma máxima y muestran viabilidad técnico-económica.

La utilización de ambas herramientas requiere de un conocimiento conceptual en el alcance de las tecnologías presentadas. Para su utilización se requiere previa introducción de algunas características del agua residual y de algunas condiciones básicas de diseño.

Objetivo

Mostrar el árbol de decisión de la “Guía para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales para facilitar la toma de decisión, con enfoque en la reducción de emisiones de GEI”

Alcance

Tecnologías incluidas en el árbol de decisión del proyecto “Guía para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales para facilitar la toma de decisión, con enfoque en la reducción de emisiones de GEI”.

Acrónimos

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
CAPEX	Costo de inversión del proyecto
CHP	<i>Combined Heat and Power</i>
GEI	Gases de Efecto Invernadero
LACM	Lodos Activados Completamente Mezclados
NOM	Norma Oficial Mexicana
OPEX	Costos de operación y mantenimiento de la PTAR
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> reactor

Instrucciones de uso

El presente documento muestra las operaciones unitarias recomendadas para obtener el máximo abatimiento de GEI con un costo de inversión y operación óptimos en un proyecto de saneamiento típico, con fines de dar cumplimiento a lo dispuesto en la NOM-001-SEMARNAT-1996 en sus límites más estrictos (descarga a cuerpo de agua tipo B o C, así como a la NOM-003-SEMARNAT-1997).

Para utilizar la guía de selección se requiere:

1. Identificar la calidad de agua tratada requerida en el proyecto, según la **Tabla 1**
2. Identificar los datos base de diseño de la PTAR que son requeridos en la Guía de Selección
3. Seguir los pasos de la Guía de Selección
4. Identificar el tren de tratamiento recomendado para la calidad de agua tratada requerida y los datos base de diseño de la PTAR

Tabla 1. Calidad de agua de descarga

PARÁMETRO	NOM-001 Cuerpo tipo B	NOM-001 Cuerpo tipo C	NOM-003 Contacto indirecto
CUERPO DE AGUA DE DESCARGA	▪ Ríos con uso público urbano ▪ Embalses naturales o artificiales ▪ Aguas costeras para recreación o estuarios ▪ Humedales naturales	▪ Ríos con protección de vida acuática ▪ Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos	▪ Riego en jardines y camellones ▪ Fuentes de ornato ▪ Campos de golf ▪ Sistemas contra incendio ▪ Lagos artificiales no recreativos
DBO (mg/L)	Menor a 75	Menor a 30	Menor a 30
SST (mg/L)	Menor a 75	Menor a 30	Menor a 30

- [Ir al Árbol de Decisión](#)
- [Ir a Diagrama A](#)
- [Ir a Diagrama B](#)
- [Ir a Diagrama C](#)
- [Ir a Diagrama D](#)



Tecnologías

La **Guía de Selección** incorpora los siguientes procesos y operaciones unitarias:

☐ **Pretratamiento**

1. Cribado. Desarenado
2. Clarificación primaria (Procesos aerobios)

☐ **Tratamiento Aerobio**

1. Biodiscos
2. Filtro percolador
3. Lodos activados completamente mezclados
4. Lodos activados en Aireación Extendida

☐ **Tratamiento Anaerobio**

1. Lagunas de estabilización
 1. Anaerobia cubierta
 2. Facultativa
 3. De pulimento
2. Reactor UASB

☐ **Filtros de lecho de raíces (Wetlands)**

☐ **Clarificación secundaria (Procesos aerobios)**

☐ **Desinfección con UV o cloro**

☐ **Tratamiento de lodos**

1. Digestión Aerobia
2. Digestión Anaerobia

☐ **Utilización de biogás**

1. Quema (no hay utilización)
2. Aprovechamiento energético en motores de combustión interna o turbinas, ya sea en un esquema de generación de energía eléctrica o cogeneración de energía eléctrica y térmica (CHP).

Trenes de tratamiento

La Guía de Selección incorpora los siguientes dieciséis trenes de tratamiento de agua (hasta tres procesos unitarios en serie por tren) y línea de tratamiento de lodos (si aplica).

#	1-Tratamiento de agua	2-Tratamiento de agua	3-Tratamiento de agua	4-Tratamiento de Lodos
1	Laguna anaerobia cubierta	Laguna facultativa	Laguna de pulimento	
2	Laguna anaerobia cubierta	Laguna facultativa	Wetlands	
3	Reactor UASB	Laguna facultativa	Laguna pulimento	
4	Clarificador primario	Biodiscos		Digestión aerobia
5	Clarificador primario	Filtro percolador		Digestión aerobia
6	Aireación extendida			
7	Clarificador primario	LACM		Digestión aerobia
8	Reactor UASB	Aireación extendida		
9	Reactor UASB	Biodiscos		
10	Reactor UASB	Filtro percolador		
11	Reactor UASB	Wetlands		
12	Wetlands			
13	Reactor UASB			
14	Clarificador primario	Filtro percolador		Digestión anaerobia
15	Clarificador primario	LACM		Digestión anaerobia
16	Reactor UASB	Filtro percolador	Aireación extendida	

Criterios de selección: Área

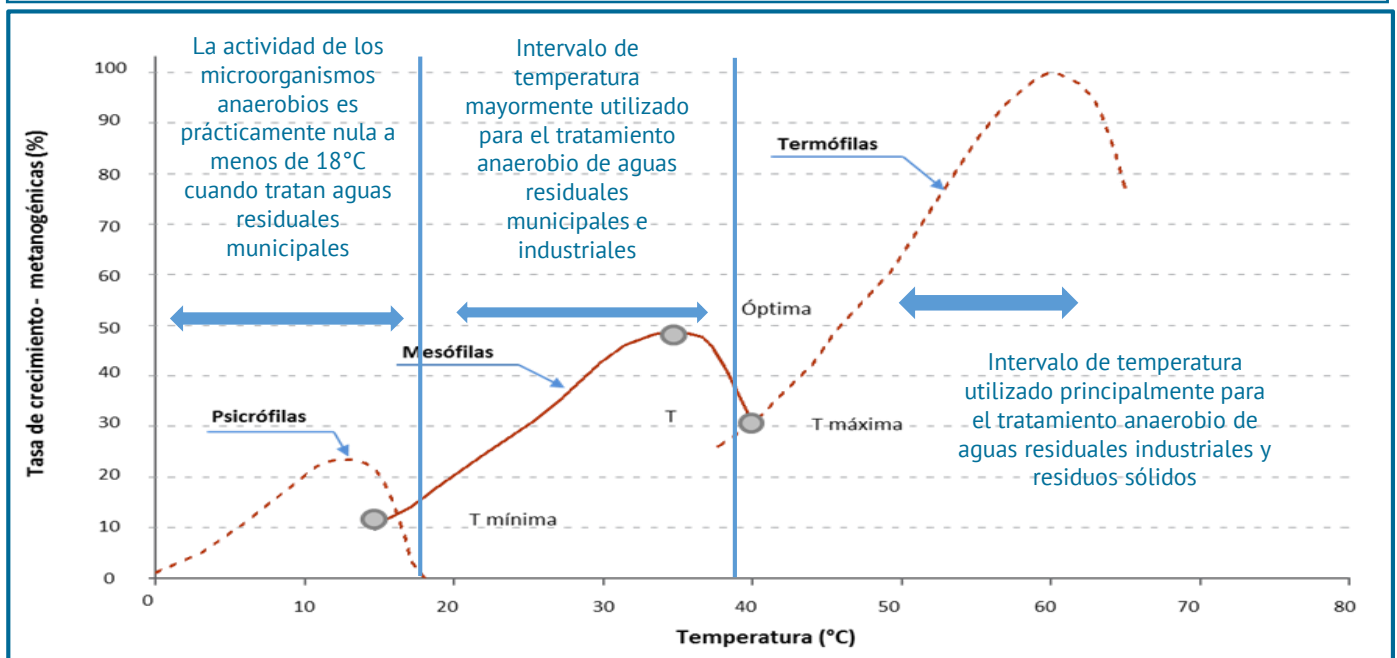
ÁREA

- ❑ Se considera que los proyectos donde no hay limitación de área son aquellos donde el precio del terreno es muy bajo y por lo tanto, **el área para la instalación de la planta de tratamiento no es un factor limitante o determinante en la toma de decisión.**
- ❑ Los procesos extensivos en área (típicamente las lagunas de estabilización y los *wetlands*) por lo general sólo serán competitivos cuando no hay limitación de área y cuando la calidad del agua tratada requerida no es muy estricta (en general, cumplir la NOM-001 para descarga a cuerpos receptores tipo B).

Criterios de selección: Temperatura

TEMPERATURA

- ❑ Si la temperatura del agua cruda es menor a 18°C (Chernícharo et al., 2015a y 2015b) se dificulta la actividad depuradora anaerobia debido al metabolismo de los microorganismos (ver tabla abajo), lo que excluye a los reactores anaerobios UASB por ser procesos de alta tasa; pero no a las lagunas anaerobias, ya que su eficiencia más bien depende de su elevado tiempo de residencia hidráulica.



Criterios de selección: Flujo másico

FLUJO MÁSIKO

- ❑ El criterio de discriminación por flujo másico sólo aparece cuando no hay limitación de área -procesos lagunares o *wetlands*- porque éstos procesos son de muy baja carga comparados con los procesos compactos. Por lo tanto, más sensibles al flujo másico, especialmente los *wetlands*.

$$\text{Flujo másico} \left(\frac{\text{kgDQO}}{\text{d}} \right) = \text{DQO} \left(\frac{\text{kgDQO}}{\text{m}^3} \right) \cdot Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

- ❑ Por esta razón, cuando no hay limitación de área, en el árbol de decisión primero se discrimina por flujo másico para direccionar la selección a la utilización ya sea de *wetlands* o de lagunas de estabilización. Si se decide por lagunas, la recomendación es usar en primera instancia una laguna anaerobia cubierta.
- ❑ A flujos muy elevados (más de 250 L/s), conviene instalar un reactor UASB en vez de una laguna anaerobia por las siguientes razones:
 - La eficiencia que alcanza el UASB es superior. Por lo tanto, la generación de biogás aumenta y con ello aumentan los beneficios de utilizar el biogás para generar energía.
 - El costo de la membrana para captar el biogás de una laguna muy grande hace que el UASB sea casi tan competitivo como la laguna en términos de CAPEX.
- ❑ El pulimento del efluente anaerobio se realiza con una laguna facultativa y luego una de pulimento.
- ❑ Aunque el flujo volumétrico (L/s) es un parámetro que se identifica fácilmente para la toma de decisiones, es necesario tener en cuenta que hay circunstancias en las cuales aunque el flujo volumétrico sea elevado, puede ser que la concentración promedio del agua residual cruda sea muy baja.
- ❑ Por esta razón, para decidir si un proceso anaerobio puede generar una cantidad suficiente de biogás que haga factible su utilización para generar energía, el criterio más idóneo para la decisión será el flujo másico (ton DQO/d) en vez del flujo volumétrico.
- ❑ Conforme con el IMTA (2017) y con López Hernández *et al* (2017), el flujo másico (kg DQO/d) para el cual comienza a ser viable el uso de biogás, es de aproximadamente 12 ton DQO/d, lo cual para un agua residual de fuerza media (unos 600mg/L DQO), equivale precisamente a un flujo volumétrico mayor a los 250 L/s.

Criterios de selección: Flujo/caudal

FLUJO/CAUDAL

- ❑ La prioridad de selección de trenes en función del flujo volumétrico sigue una combinación de criterios que para el caso de esta guía son:
 - Costo de inversión
 - Costo de operación
 - Evaluación económica en términos de valor presente neto
 - Emisión de GEI

Con estos criterios se han construido gráficas para casos [sin limitación de área](#) y [con limitación de área](#).

- ❑ A un flujo mayor de 30 L/s, la selección de biodiscos generalmente puede ser económicamente inviable por el alto costo de mantenimiento del mecanismo motriz, por ello debe ser debidamente evaluado con mucha cautela a un flujo mayor de 30L/s, y en esta guía no se recomienda.

Criterio flujo/caudal cuando no hay limitación de área

- ❑ La prioridad de selección de trenes depende enormemente del flujo. A flujos muy pequeños (en general menores de 30 L/s), los filtros de lecho de raíces, mejor conocidos como “humedales” o *wetlands*, requieren menor inversión que las lagunas, cuya elección se favorece a flujos mayores.

Criterios de selección: Calidad del efluente

CALIDAD DEL EFLUENTE EN CASOS SIN LIMITACIÓN DE LIMITACIÓN DE AREA

- ❑ Cuando se requiere una mayor calidad de agua, se requerirá un pulimento después de las lagunas de estabilización (*wetlands*, por ejemplo) y filtración con disco de membranas (cumplimiento de NOM-001, descarga a cuerpos de agua tipo C, o bien cumplimiento de la NOM-003).

CALIDAD DEL EFLUENTE EN CASOS CON LIMITACIÓN DE AREA

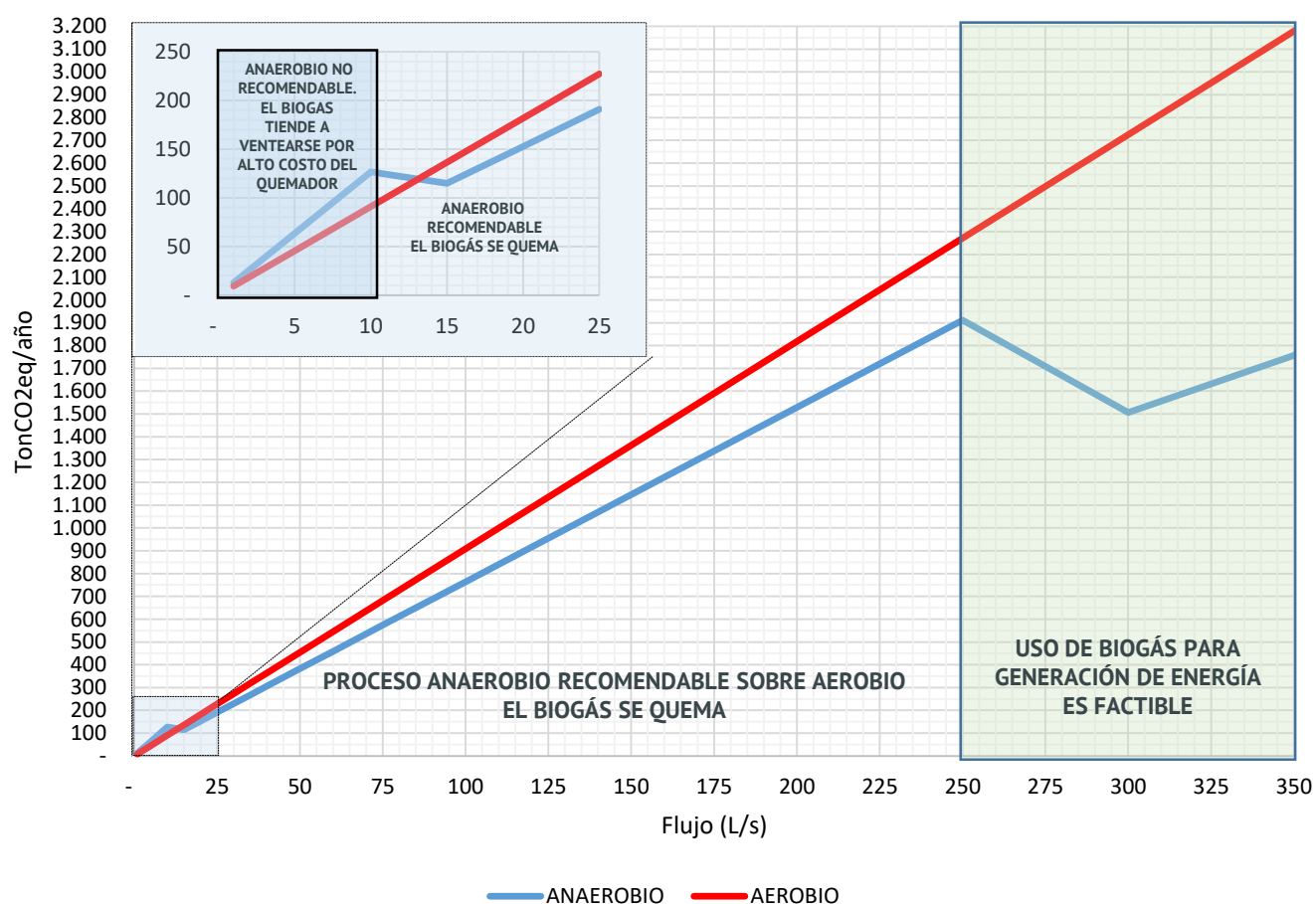
- ❑ Para una alta calidad de agua (NOM-003, por ejemplo), en una planta compacta el tren de tratamiento siempre deberá terminar con un proceso aerobio, preferiblemente del tipo lodos activados en cualquiera de sus versiones.
- ❑ Asimismo, idealmente deberá contemplar la filtración del agua tratada, de modo de garantizar la eliminación de huevos de helminto.

Criterios de selección: Procesos anaerobios y generación de biogás

- ❑ El análisis de ciclo de vida (ACV) realizado privilegia -excepto para caudales muy pequeños-, el tratamiento anaerobio sobre el aerobio, conforme con Noyola *et al* (2013). Principalmente porque su costo operativo es muy bajo comparado con el de un proceso aerobio.
- ❑ Si se usa un proceso anaerobio pero el biogás se ventea a la atmósfera, el resultado en términos de generación de GEI es mucho más alto que la operación de un proceso aerobio convencional; por lo que como mínimo siempre se debe quemar el biogás generado al seleccionar procesos anaerobios:
 - Sin limitación de área: En la elección de lagunas anaerobias se considera el costo de la membrana para captar el biogás y equipo para quemar o generación de energía.
 - Con limitación de área: La elección de un proceso UASB incluye el equipo quemador o de generación de energía.
- ❑ No se recomiendan procesos anaerobios en flujos menores a unos 10 L/s, ya el costo de un quemador de biogás es muy elevado en relación al costo total de la PTAR, por lo que el biogás tiende a ventearse a la atmósfera, situación que involucra una gran emisión de GEI
- ❑ A partir de un flujo másico de 12 ton DQO/d comienza a ser rentable la generación de energía utilizando el biogás, como se ha mostrado en distintos estudios de caso (IMTA, 2017; ENRES, 2017).

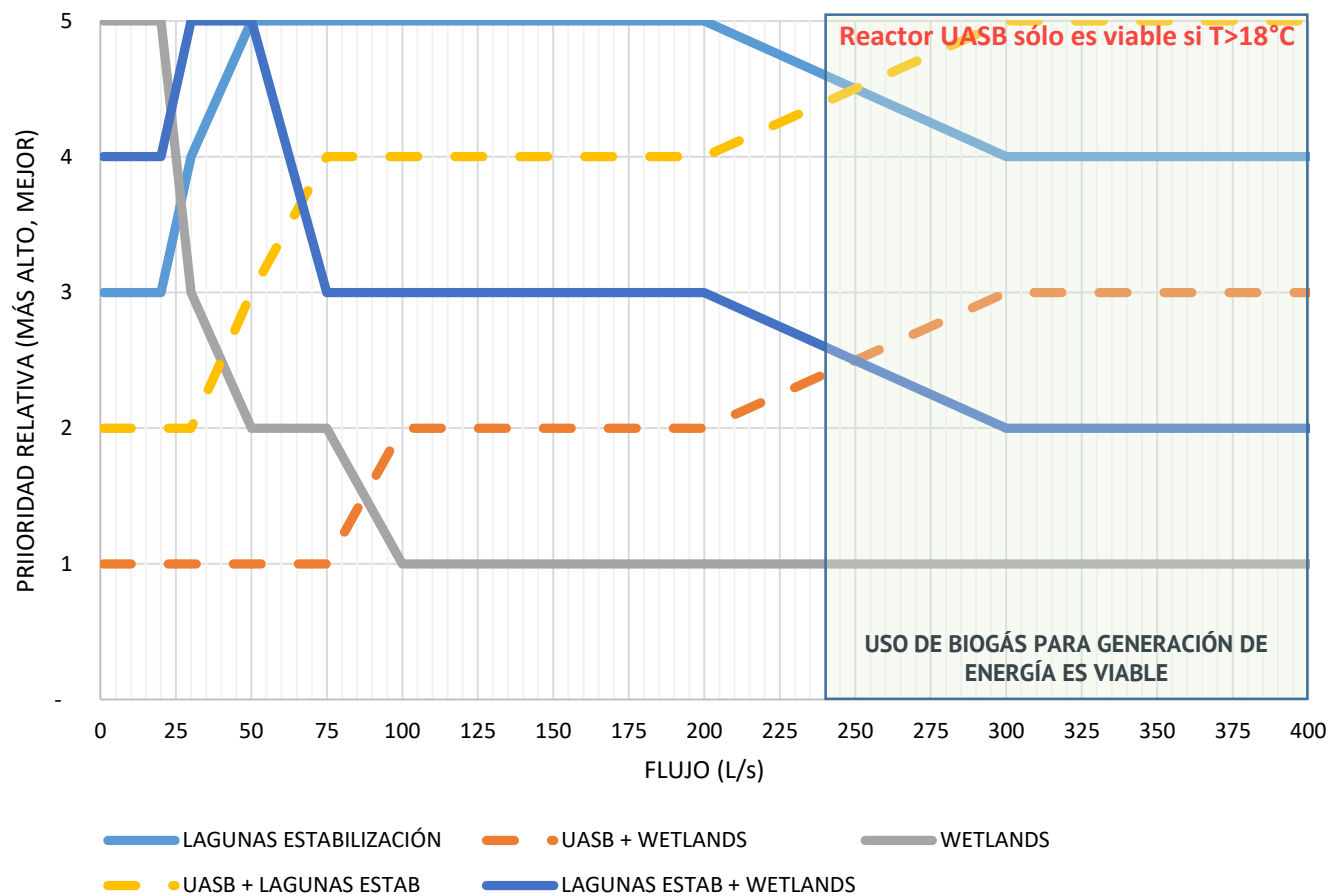
Criterios generales respecto a la emisión de GEI

EMISIÓN DE GEI: PROCESO ANAEROBIO VS AEROBIO

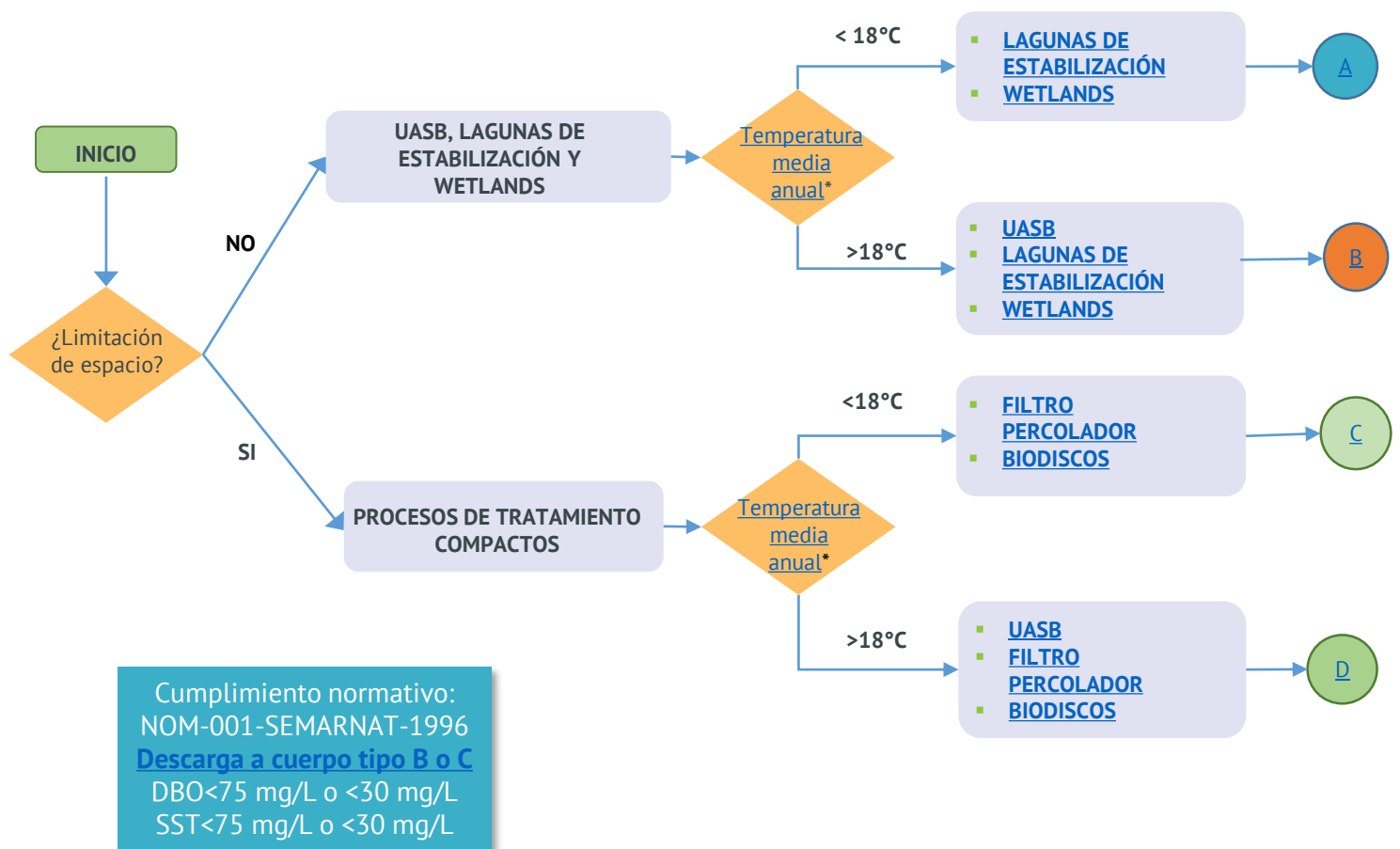


NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo B. Sin limitación de área

PRIORIDAD DE ELECCIÓN DE TRENES (NOM-01 B)



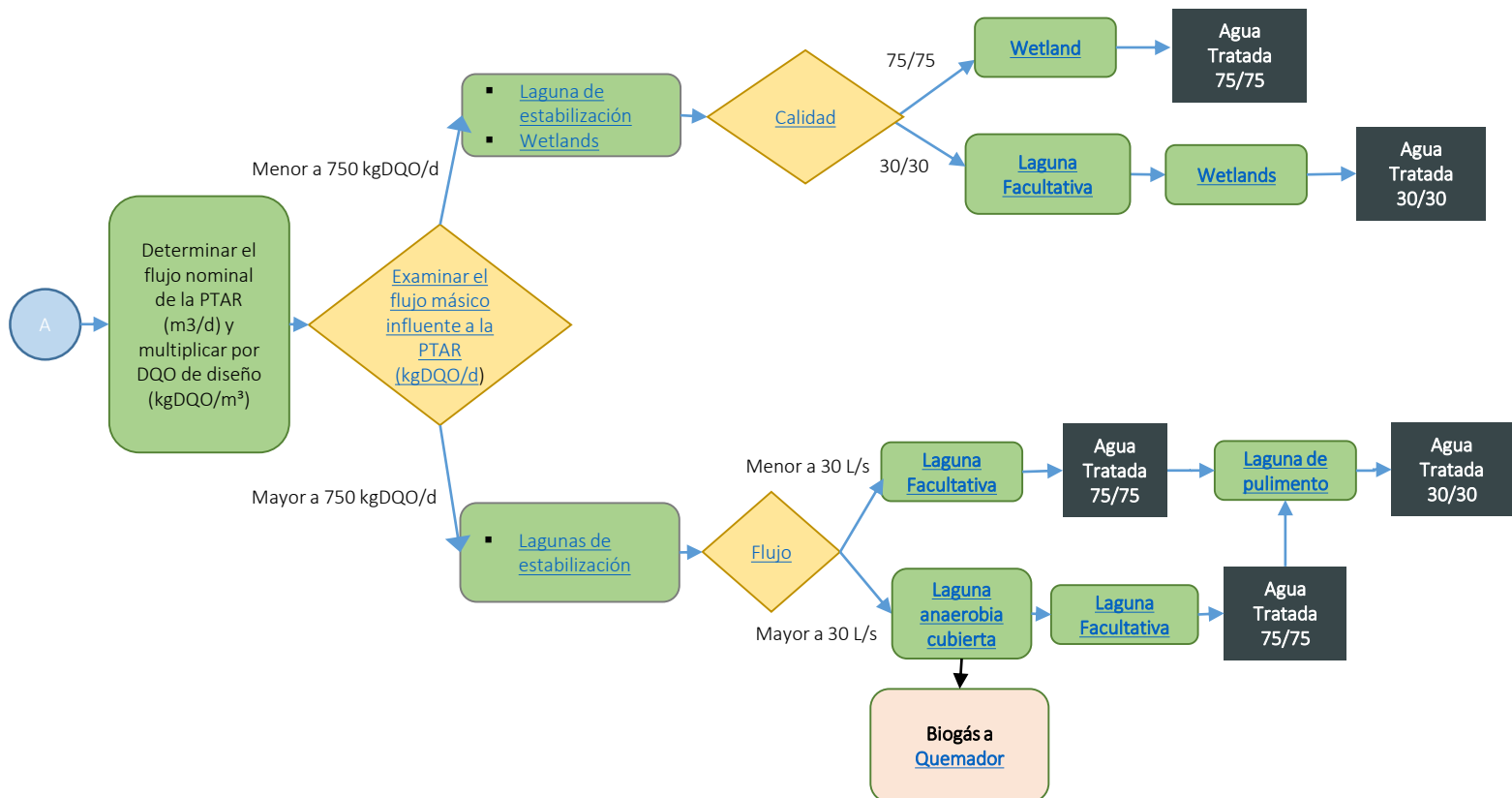
Árbol de decisión. Cumplimiento de NOM-001. Cuerpo tipo B o C



- Temperatura promedio **del agua cruda**, según Chernícharo *et al*, (2015).
- La temperatura del agua cruda es un factor limitante para el buen funcionamiento del reactor UASB, ya que los procesos anaerobios son muy sensibles a la temperatura y su eficiencia disminuyen significativamente a menos de 18°C (ver [figura](#)).

A- Procesos sin limitación de área. Temperatura del agua cruda menor a 18°C

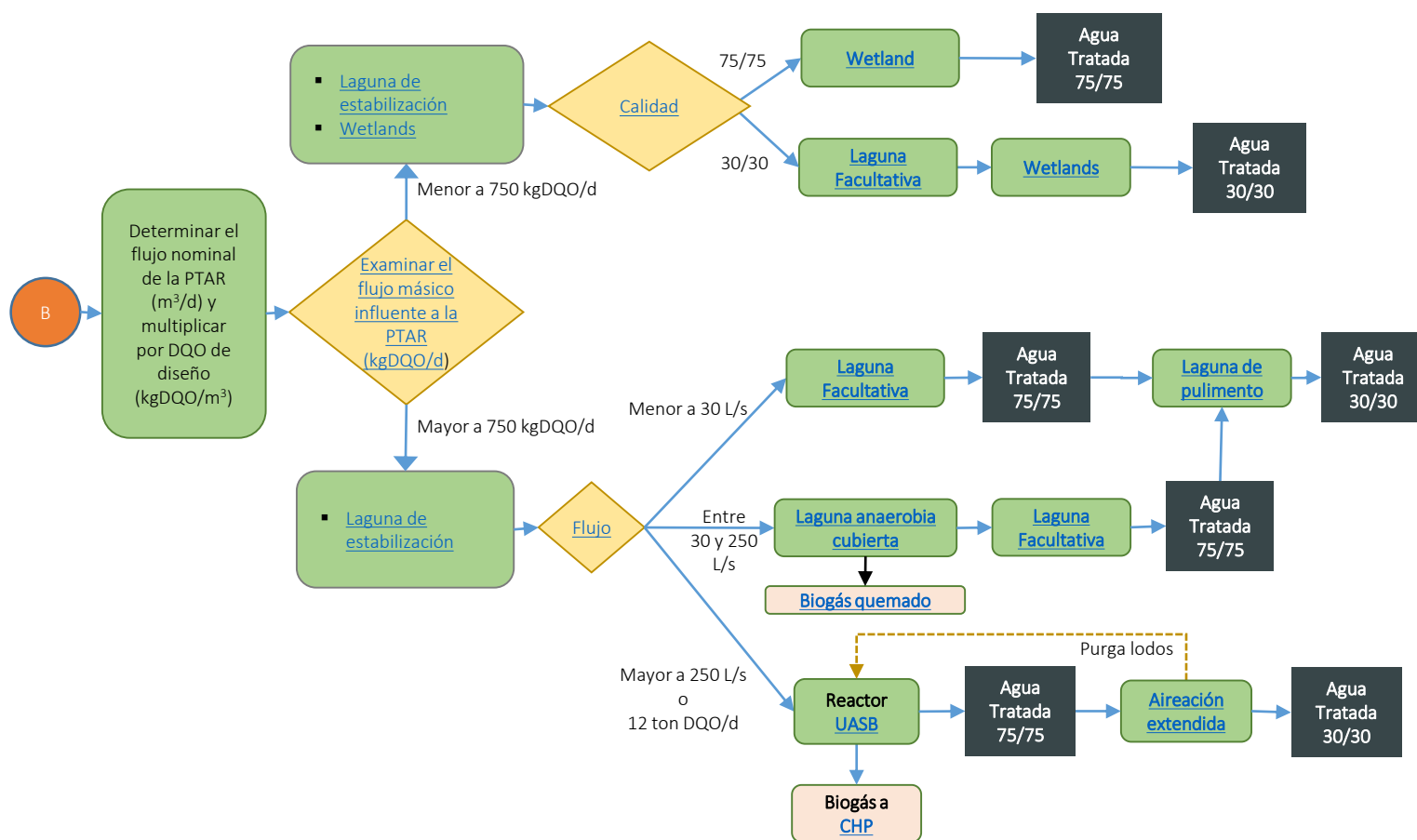
[Regresar al Árbol de Decisión](#)



Cumplimiento normativo:
NOM-001-SEMARNAT-1996
[Descarga a cuerpo tipo B o C](#)
DBO < 75 mg/L o < 30 mg/L
SST < 75 mg/L o < 30 mg/L

B- Procesos sin limitación de área. Temperatura del agua cruda mayor a 18°C

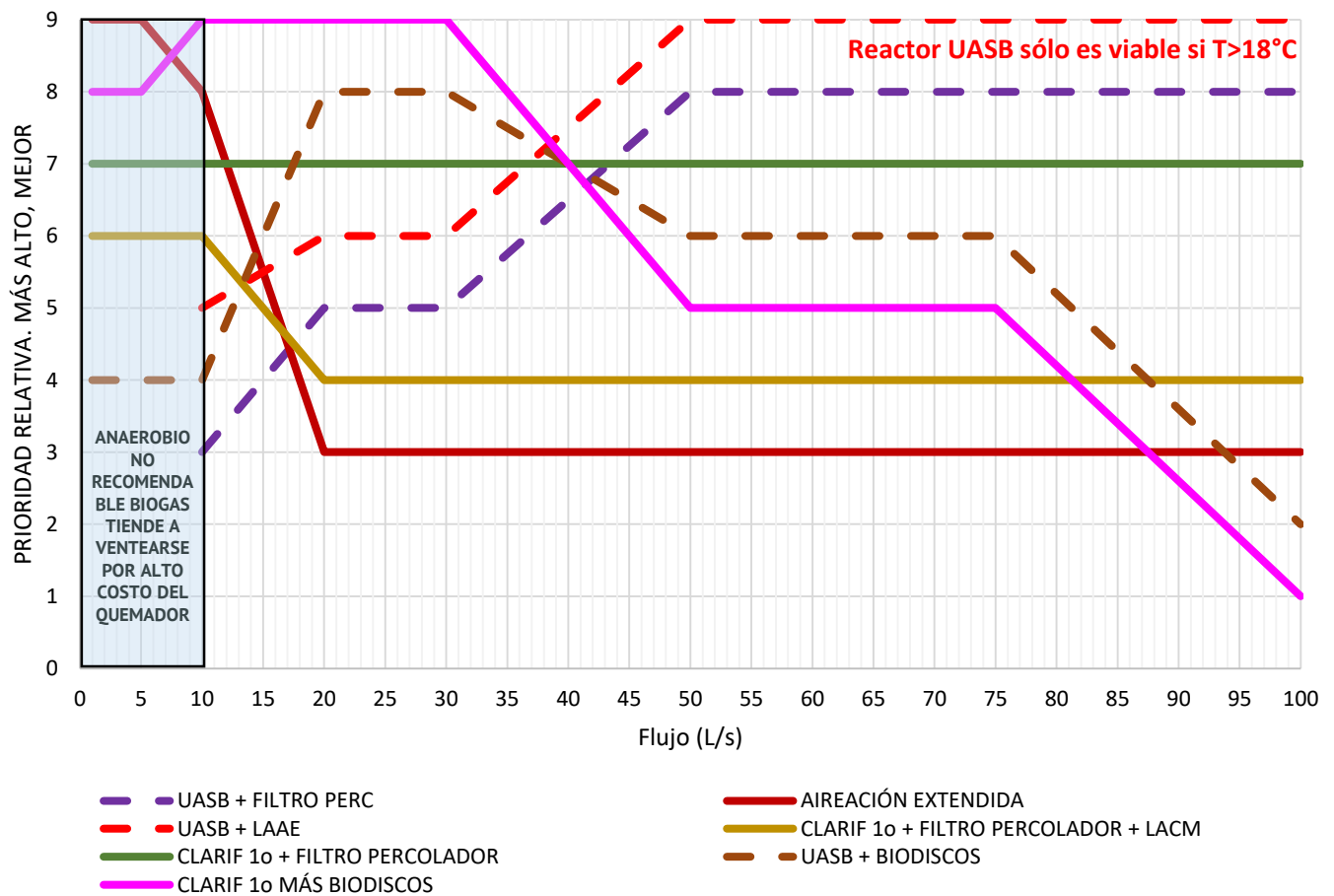
[Regresar al Árbol de Decisión](#)



Cumplimiento normativo:
NOM-001-SEMARNAT-1996
[Descarga a cuerpo tipo B o C](#)
DBO < 75 mg/L o < 30 mg/L
SST < 75 mg/L o < 30 mg/L

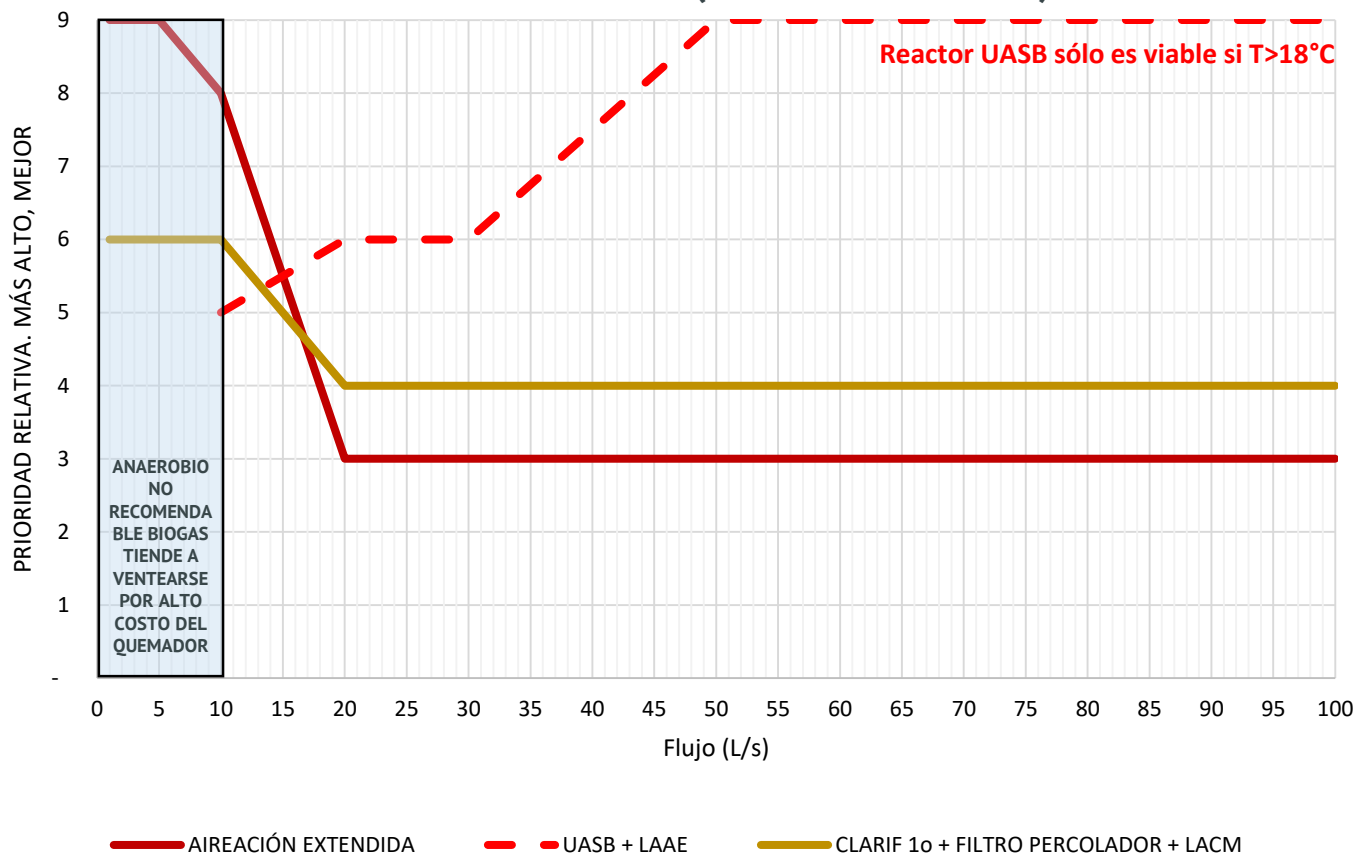
NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo B. Con limitación de área. Para flujos pequeños (menor a 100 L/s)

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01B). PTAR COMPACTA



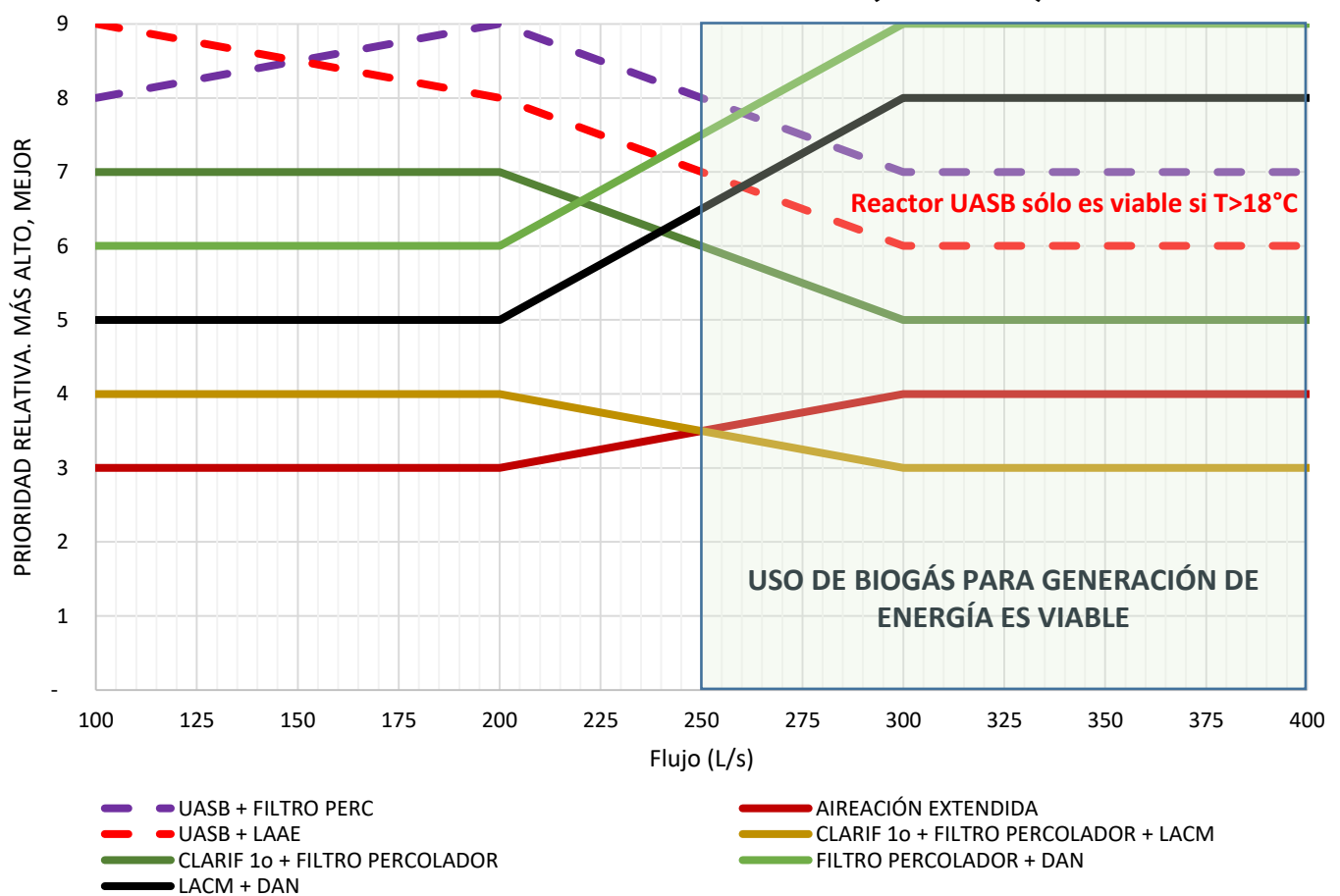
**NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo C y NOM-003.
Con limitación de área. Para flujos pequeños (menor a 100 L/s)**

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01C Y NOM-03). PTAR COMPACTA



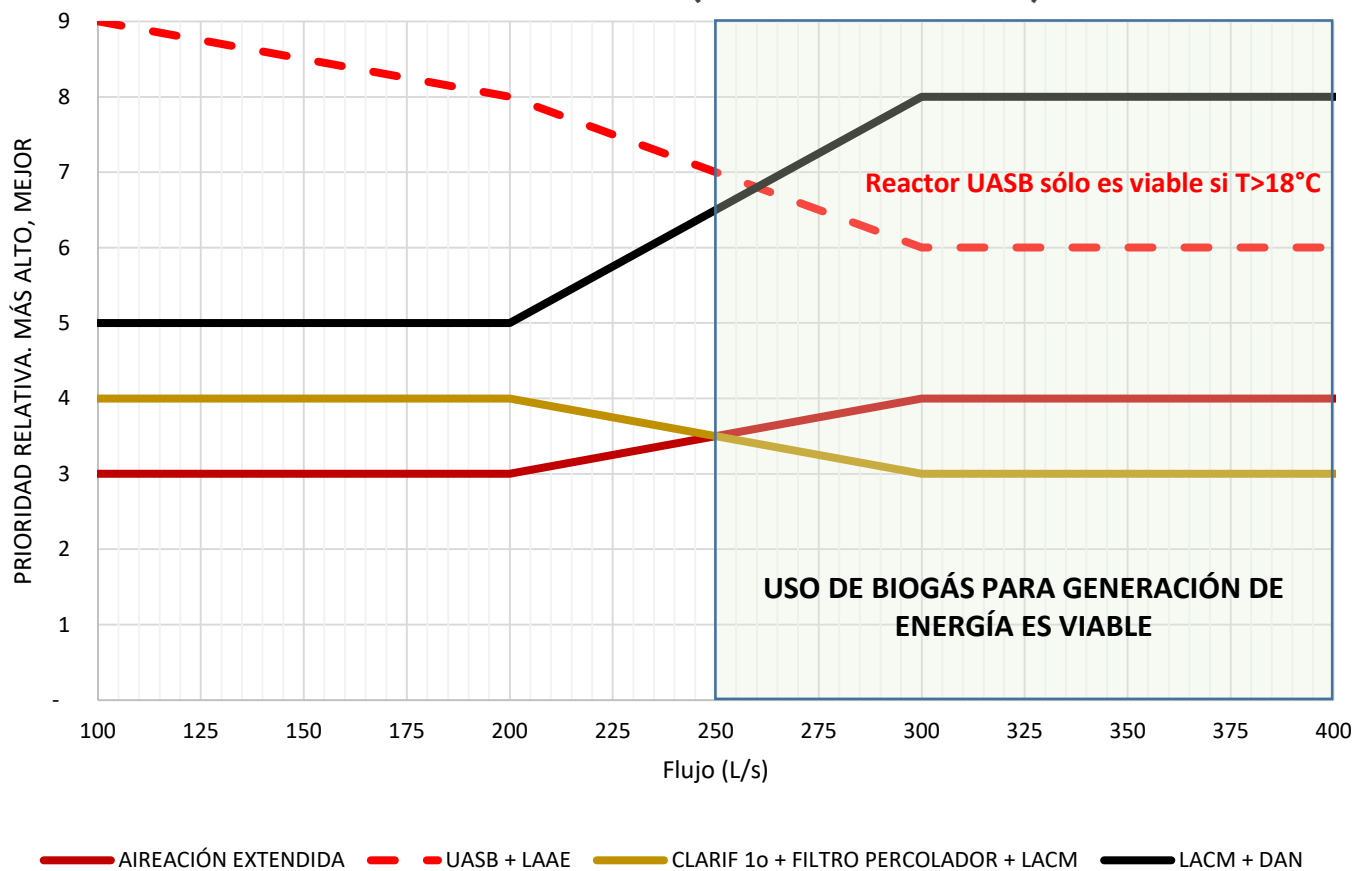
NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo B. Con limitación de área. Para flujos medios (100 hasta 400 L/s)

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01B). PTAR COMPACTA



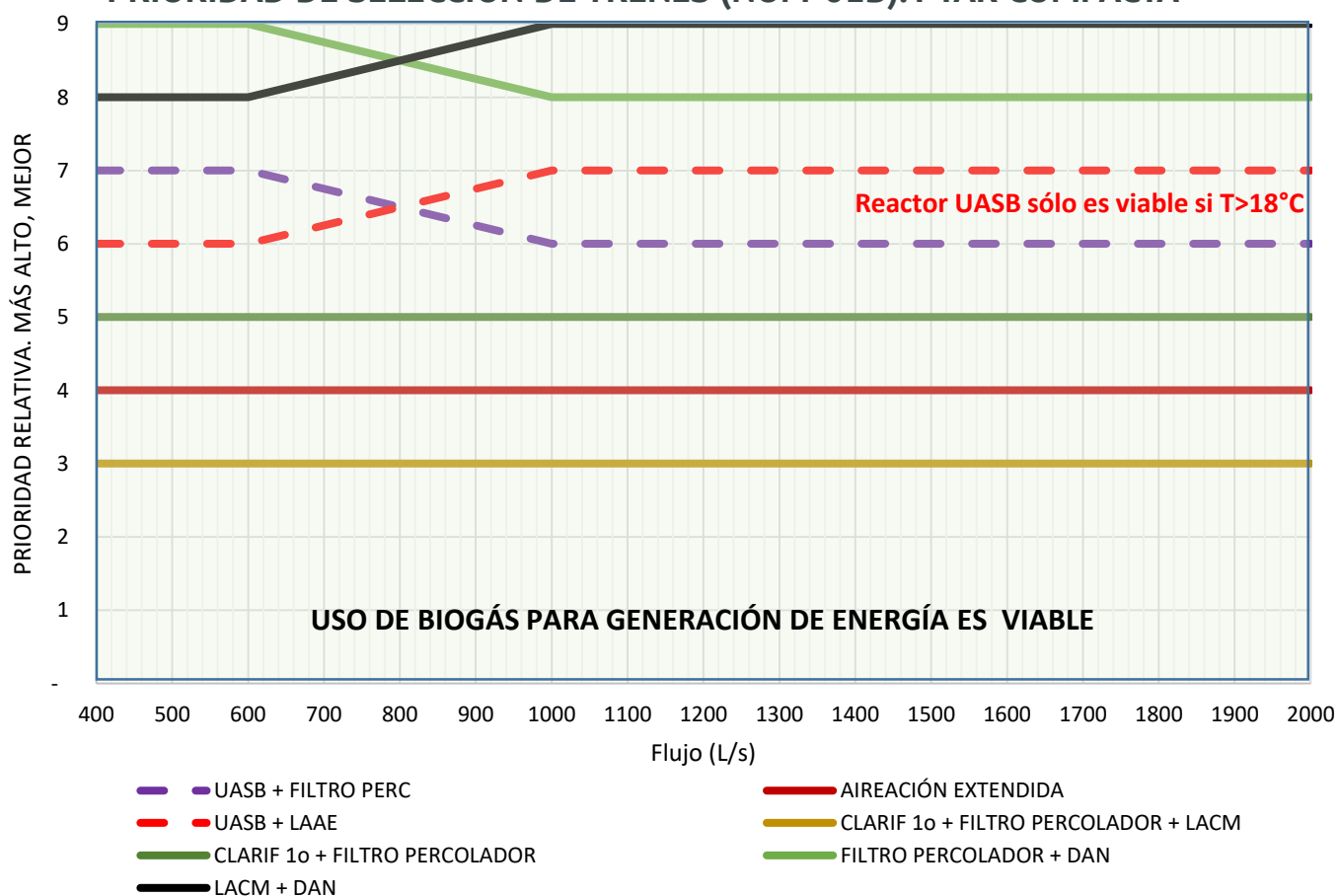
**NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo B y NOM-003.
Con limitación de área. Para flujos medios (100 hasta 400 L/s)**

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01C Y NOM-03). PTAR COMPACTA



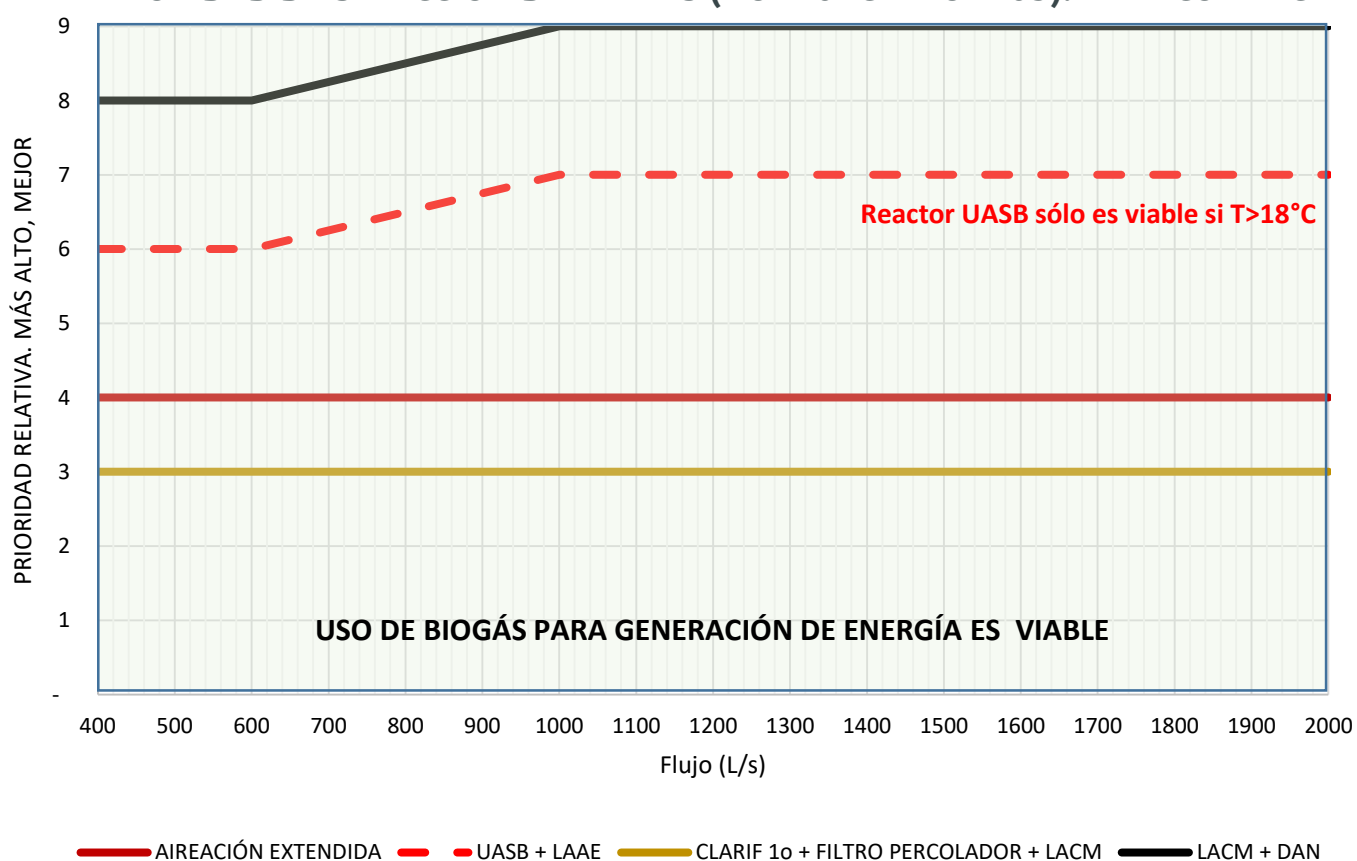
NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo B. Con limitación de área. Para flujos grandes (más de 400 L/s)

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01B). PTAR COMPACTA



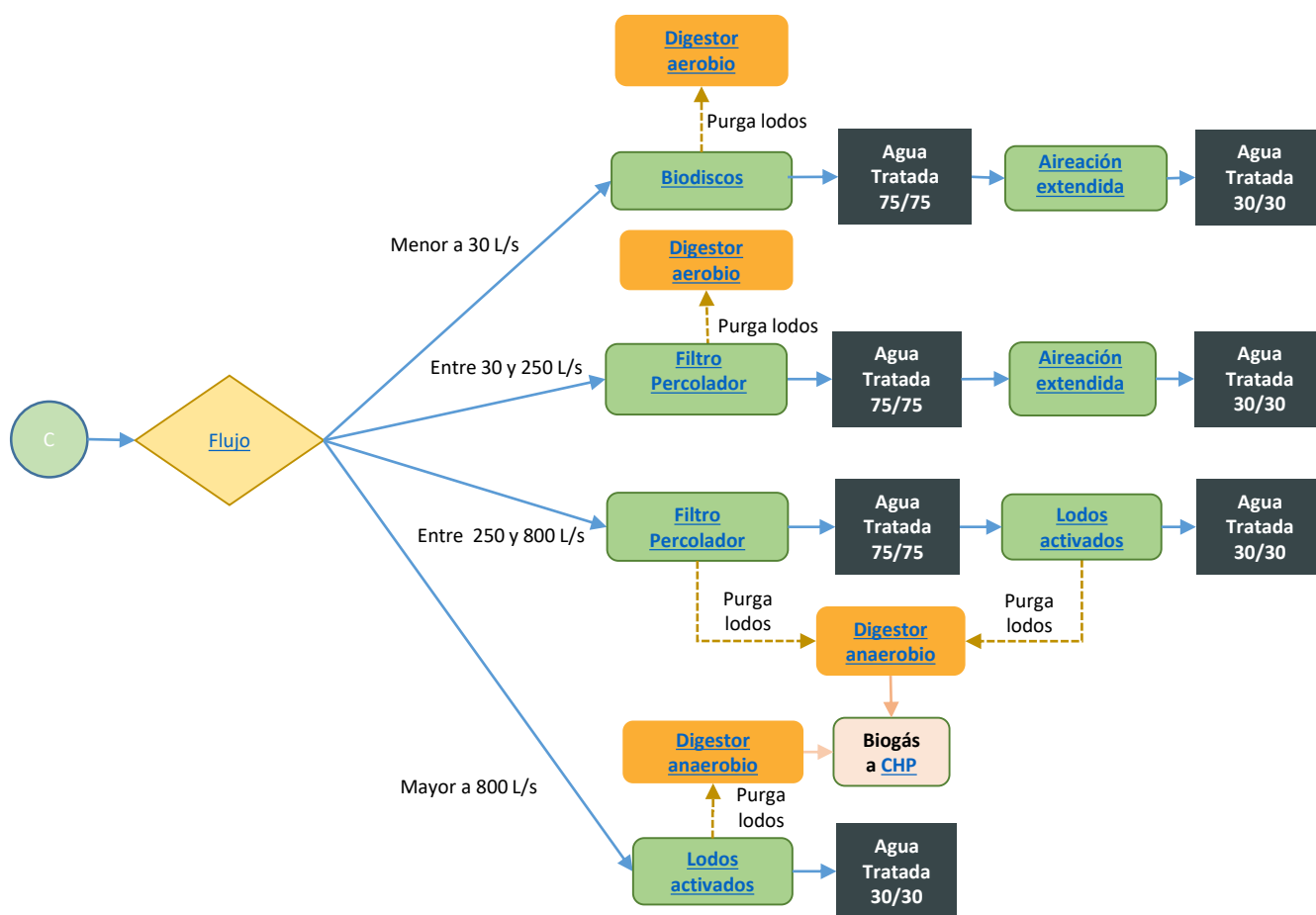
**NOM-001. Descarga a cuerpo receptor tipo C y NOM-003.
Con limitación de área. Para flujos grandes (más de 400 L/s)**

PRIORIDAD DE SELECCIÓN DE TRENES (NOM-01C Y NOM-03). PTAR COMPACTA



C- Procesos con limitación de área. Temperatura del agua cruda menor a 18°C

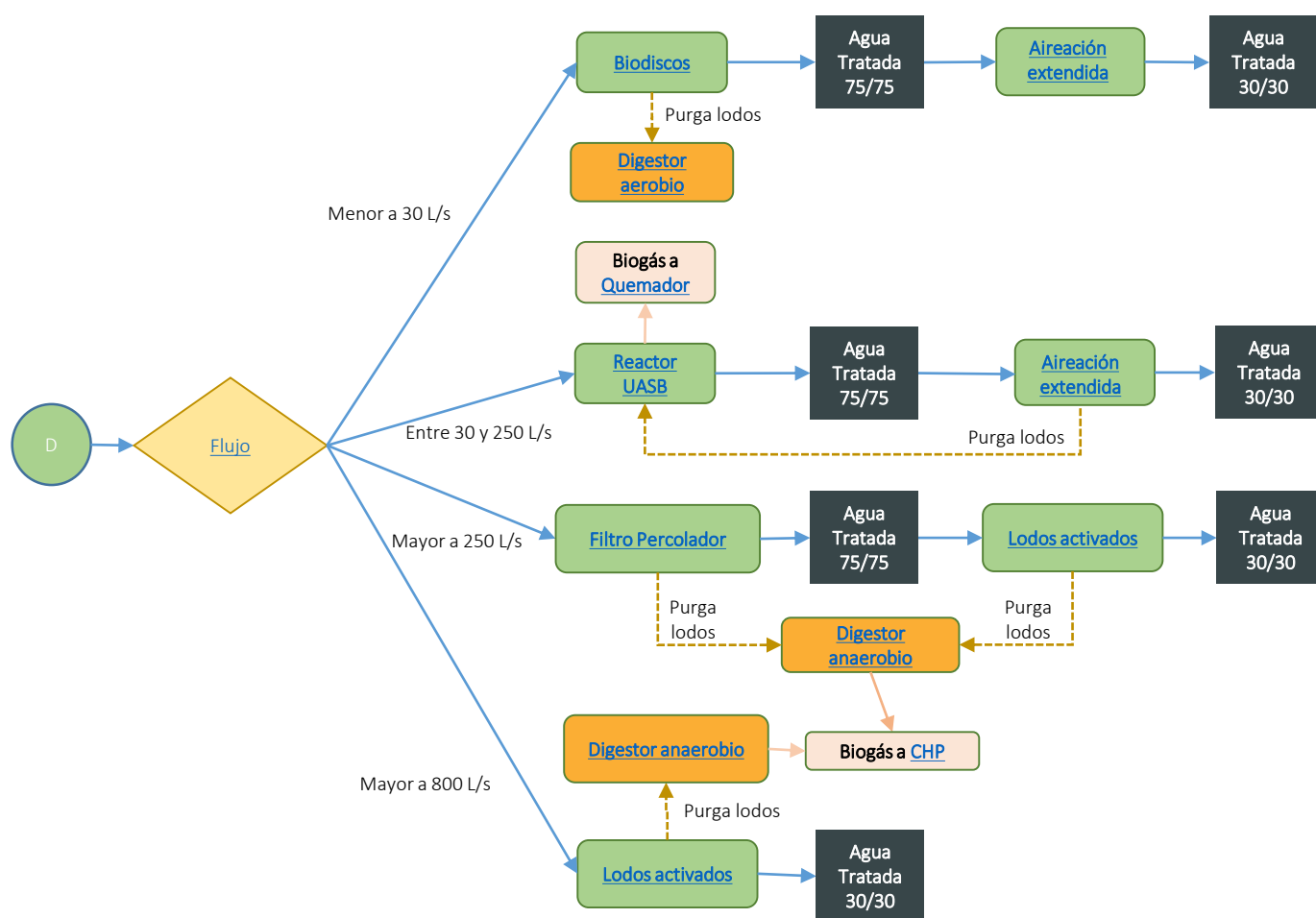
[Regresar al Árbol de Decisión](#)



Cumplimiento normativo:
NOM-001-SEMARNAT-1996
[Descarga a cuerpo tipo B o C](#)
DBO<75 mg/L o <30 mg/L
SST<75 mg/L o <30 mg/L

D- Procesos con limitación de área. Temperatura del agua cruda mayor a 18°C

[Regresar al Árbol de Decisión](#)



Cumplimiento normativo:
NOM-001-SEMARNAT-1996
[Descarga a cuerpo tipo B o C](#)
DBO<75 mg/L o <30 mg/L
SST<75 mg/L o <30 mg/L

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización suelen utilizarse para tratar aguas residuales en zonas rurales apartadas con un costo operativo señaladamente bajo. Un tren de lagunas típico consiste en una laguna anaerobia, cuya profundidad es de al menos 4 metros; una laguna facultativa, cuya profundidad es de unos 2 metros, y una o dos lagunas de pulimento, de profundidad de un metro o menor, que eliminan sólidos suspendidos remanentes del proceso de degradación, así como organismos patógenos (la última laguna diseñada para este fin se denomina laguna de maduración). El tiempo de residencia hidráulico total del sistema es de más de 40 días.

La laguna anaerobia típica de un tren lagunar generalmente no está cubierta, lo cual provoca que el biogás generado se emita libremente a la atmósfera, con un impacto negativo muy alto, asociado con GEI. Pero si una laguna anaerobia se cubre con una membrana flotante para mejorar la actividad de digestión anaerobia y para permitir la colección de biogás, puede resultar una alternativa atractiva cuando no existen limitaciones de área.

Humedales construidos o Wetlands.

Consta de un tanque de unos 60cm de profundidad empacado con grava o piedra en la cual están sembradas plantas. Generalmente, el agua residual fluye de manera subsuperficial. Los contaminantes son eliminados por la acción de varios procesos fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos utilizados en plantas de tratamiento convencionales (sedimentación, filtración, intercambio iónico, oxidación y reducción química, conversión y degradación biológica, etc.) o que llevan a cabo específicamente los organismos del reino vegetal (fotosíntesis, fotooxidación, incorporación de materia y nutrientes, etc.).

Los sistemas de lecho de raíz son ambientalmente agradables, no presentan problemas de moscas y malos olores, su construcción es simple, no requiere de equipo mecánico o eléctrico, poseen una gran capacidad amortiguadora que soporta una amplia gama de condiciones de operación y composición de las aguas residuales, y tienen costos de operación y mantenimiento muy bajos. Aplicado como etapa de pulimento, la calidad del efluente que logra puede cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Su mayor limitación es que ocupan un área considerable y su costo de inversión y operación es algo mayor que el de una laguna facultativa, por ejemplo, por lo que su aplicación sólo es recomendada para PTAR de muy pequeña capacidad (menos de 20 L/s).

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB)

Debido al metabolismo de los microorganismos involucrados, los procesos anaerobios no requieren oxígeno. La principal implicación ingenieril es que, a diferencia de un proceso aerobio típico, no se tiene el consumo eléctrico asociado con la aireación. Por otro lado, en un sistema de tratamiento de aguas residuales la tecnología anaerobia genera la menor cantidad de lodo de todas, y se obtiene un subproducto con alto valor agregado como es el biogás, susceptible de ser aprovechado como combustible.

Actualmente el reactor UASB es el más utilizado en el mundo para tratar aguas industriales, y el tercero en importancia para tratar aguas residuales municipales. Su principal ventaja es que puede remover la mayor parte del material biodegradable del agua a muy bajo costo operativo generando muy poco lodo de purga, lo cual tiene como consecuencia positiva una menor generación de GEI cuando el biogás es quemado o aprovechado para generar energía. Un reactor UASB tratando aguas residuales municipales alcanza una eficiencia de remoción de DQO del 65% con un tiempo de retención hidráulica de unas 6 horas, aunque su aplicación se ve limitada a situaciones donde la temperatura media del agua supera los 18°C, ya que a temperaturas más bajas la actividad microbiana anaerobia es sumamente reducida.

Conforme con los estudios más recientes, todo proceso que incluya como primera etapa un reactor UASB, logra los mejores resultados en un análisis de ciclo de vida.

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Filtro Percolador

Es un proceso de biopelícula diseñado para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, construyendo un lecho de oxidación biológica. El agua residual se rocía por la parte superior, y en su caída “percola” y se lleva a cabo la eliminación del material orgánico biodegradable a un costo de operación razonable. Cada filtro percolador tiene un sistema de drenaje inferior para recoger el agua residual tratada y los sólidos biológicos que se desprenden del medio.

Un filtro percolador muchas veces tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domésticas o industriales previamente a un proceso más eficiente, como los lodos activados. Esta combinación es sólida para abatir costos de operación, aunque no es tan buena como la de un proceso anaerobio seguido de un proceso de lodos activados.

En general, el CAPEX de un filtro percolador moderno con empaque sintético supera al de un biodisco o un lodo activado a flujos muy pequeños, sobre todo debido al alto costo del material de empaque. Pero a flujos mayores resulta una opción mucho más atractiva que otros procesos aerobios, ya que por una cuestión de escala, para plantas de gran capacidad pesa más el OPEX del proceso.

Biodiscos

Los biodiscos o “contactores biológicos rotatorios” son un proceso aerobio de película fija. La biomasa se adhiere a un medio sintético que conforma un disco rotatorio que rota sobre un eje vertical. Este disco está parcialmente sumergido en el agua residual que trata, de modo que en su giro la sección sumergida es la que permite la degradación aerobia del material orgánico presente, mientras que la sección no sumergida, expuesta al aire, permite la aireación natural del medio.

Es un sistema excelente para flujos pequeños, ya que tiene un CAPEX y un OPEX muy razonables si se le compara con otros procesos biológicos aerobios, como el filtro percolador o los lodos activados. Sin embargo, por un factor de escala, para flujos grandes (mayores a unos 30 L/s) no es recomendado ya que se necesitan muchos de estos biodiscos trabajando en paralelo, haciendo un sistema muy complejo que exige mucho mantenimiento, sobre todo asociado a la tendencia a fallas de la flecha, rodamientos y motorreductores cuando el biodisco es muy grande.

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Lodos activados

El proceso de lodos activados completamente mezclados consiste en un tanque de aireación con mezcla completa y continua provista por difusores y sopladores de aire, o bien por aireadores mecánicos. Los “lodos” (biomasa) se alimentan y crecen a partir de la materia orgánica del agua residual. Los lodos crecen en forma de flóculos que sedimentan al pasar por un clarificador secundario; el agua clarificada desborda por la parte superior de dicho tanque, en tanto que la biomasa concentrada se recircula al tanque de aireación y una pequeña fracción, la purga, se envía al sistema de tratamiento de lodos.

El tiempo de retención hidráulica típico de este proceso es de 4 a 8 horas. Genera una cantidad considerable de lodos de purga que deben ser estabilizados en una etapa de digestión separada.

Hoy en día en término de número de plantas instaladas a nivel municipal, es el proceso más utilizado en América Latina, aunque respecto al flujo total tratado, es superado por las lagunas de estabilización. Es el proceso más eficiente de todos, por lo que su aplicación es más obvia si la calidad del agua tratada es muy estricta. Así, es el proceso más favorecido para pulir el efluente de un proceso anaerobio, logrando con esta combinación uno de los procesos más sustentables cuando el flujo es inferior a los 250 L/s.

Aireación extendida

La aireación extendida es una variante del proceso de lodos activados en la cual se prolonga el tiempo que la biomasa permanece en el tanque de aireación. Esto provoca que la biomasa tenga poco alimento, por lo que su metabolismo, en “inanición”, se orienta a consumir también sus reservas de energía, reduciéndose con esto el contenido volátil de la biomasa. Es decir, la aireación extendida estabiliza el lodo de purga, cuya cantidad es menor que la variante completamente mezclada, pero requiere de un tiempo de retención hidráulica de 16 a 24 horas, y un mayor consumo de energía eléctrica para la aireación.

Al ser un proceso sencillo que estabiliza lodos en el mismo tanque de aireación, es la opción recomendada para plantas pequeñas donde se requiere una alta calidad del agua tratada. Sin embargo no se recomienda para flujos mayores a 100 L/s, a menos que se usa como etapa de pulimento de otro proceso menos eficiente pero de bajo costo operativo, como un reactor UASB o un filtro percolador.

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Digestor aerobio

Es un tanque aireado y completamente mezclado donde los lodos en exceso de una PTAR (primarios y secundarios) se estabilizan por vía aerobia. La aireación se realiza por difusores y sopladores o bien por aireadores mecánicos. Es un proceso sencillo y similar al proceso de lodos activados, con la diferencia de que en este sistema la biomasa no se alimenta con agua residual, por lo que consume su propio material celular y reservas de energía, reduciéndose así el material volátil del lodo hasta niveles de cumplimiento de la normativa actual.

Un digestor aerobio muestra un CAPEX muy inferior al de un digestor anaerobio; pero cuando el flujo influente a la PTAR es muy grande (mayor a unos 250 L/s) su alto OPEX lo hace prohibitivo y debe ceder su lugar a un digestor anaerobio.

Digestor anaerobio

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios es convertida biológicamente en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), mezcla conocida como biogás. Los digestores anaerobios de alta tasa suelen tener lugar a temperatura mesofílica óptima (37°C) y su objetivo es reducir el material volátil contenido en los lodos (estabilización biológica), para que puedan ser dispuestos con seguridad.

El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado y mezclado por medios mecánicos o con biogás. Los lodos se introducen en de manera continua o intermitente y son retenidos en el mismo durante períodos de tiempo variables, aunque siempre mayores a los 15 días. El lodo estabilizado que se extrae de manera continua o intermitentemente no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es bajo.

La gran ventaja de un digestor anaerobio es que el biogás generado se puede utilizar en generación de energía eléctrica y térmica en una PTAR. En sistemas de gran capacidad (mayores a 300 L/s) el biogás puede ser suficiente para suplir del 30 al 70% de la energía eléctrica que utiliza la PTAR, por lo que es el proceso más recomendable en esos casos. Sin embargo, su elevado CAPEX no hace factible su uso en PTAR de capacidad inferior a los 250 L/s, donde es preferible optar por la digestión aerobia de los lodos.

Descripción de las tecnologías

Regresar a:

➤ [Árbol de Decisión](#)

➤ [Diagrama A](#)

➤ [Diagrama B](#)

➤ [Diagrama C](#)

➤ [Diagrama D](#)

Quemador

Un quemador de biogás es un dispositivo que tiene la finalidad de oxidar el metano contenido en el biogás por vía de la combustión. Esto permite que el gas resultante sea sólo dióxido de carbono y agua, siendo el primero un GEI con un potencial negativo 23 veces menor que del metano. Por esa razón, todo proceso biológico anaerobio deberá considerar la colección y quemado del biogás.

El quemador, que puede ser abierto o cerrado, incinera el biogás de forma controlada y segura; pero el propio quemador, su tablero de control y sus dispositivos de seguridad instalados en la tubería de conducción del biogás son elementos costosos en una PTAR, por lo que su instalación se justifica económicamente sólo en PTAR mayores a unos 10 L/s.

CHP

CHP es el acrónimo en inglés de Combined Heat and Power. Esto quiere decir que un sistema CHP es un equipo cuya finalidad es generar de manera simultánea dos tipos de energía distintos a partir de una fuente de energía primaria, que en este caso es el biogás.

Un sistema CHP típico lo constituye un motor de combustión interna a cuyo eje se acopla el generador eléctrico. El biogás se utiliza como combustible del motor y su quemado se transforma al final en energía eléctrica (alrededor del 35%), y si se recuperan los gases calientes de la combustión y el calor retirado cuando se enfría la máquina, se puede obtener energía térmica en forma de agua caliente (alrededor del 50%).

Sin embargo, también existen turbinas y microturbinas que pueden funcionar como accionador primario acopladas al generador. En este caso, el rendimiento térmico de la microturbina es similar al de un motor de combustión interna, aunque la energía eléctrica obtenidas del biogás se reduce a un 30%.

Referencias

- Chernicharo, C. A. L., van Lier, J. B., Noyola, A., & Bressani Ribeiro, T. (2015a). Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 649–679. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9377-3>
- Chernicharo, C. A. L., Van Lier, J. B., Noyola, A., & Ribeiro, T. B. (2015b). Anaerobic Sewage Treatment in Latin America. In *Anaerobic Biotechnology* (pp. 263–296). IMPERIAL COLLEGE PRESS. https://doi.org/10.1142/9781783267910_0012
- ELNSYST, S. A. de C. V. (IBTech®). (2017). “GUÍA DE SELECCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES DE REDUCCIÓN DE GEI” Proyecto: *Evaluación de desempeño de plantas de tratamiento de agua residual con procesos anaerobios acondicionados, y desarrollo de una guía para la selección de procesos de tratamiento, con enfoque en la reducción de emisiones gases de efecto invernadero*.
- ELNSYST, SA de CV (IBTech®), (2018) *Estudio económico de trenes de tratamiento anaerobio*. Documento sin publicar.
- IMTA-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2016). “*Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE)*.”
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES : Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas Versión preliminar*. (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Vol. 1). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- López Hernández et al, 2017. *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales*. GIZ. ENRES-Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México.
- Mantilla, Gabriela, et al (2017). *Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales*. IMTA Y ANEAS.

Publicado por:



Contacto:

info@wacclim.org
www.wacclim.org
www.climatesmartwater.org

Autor:

IBTech: Jorge E. López Hernandez

Coordinación y revisión:

GIZ: Andrés Rojo Maurer

Revisión:

II-UNAM: Juan M. Morgan Sagastume

IMTA: Gabriela Mantilla

CONAGUA: Luis A. Rodríguez Guerrero

ANEAS: Maxiimilano Olivares

Diseño:

GIZ: Elaine Cheung & Mónica Zambrano

IBTech: Benly L. Ramírez Higareda

Créditos de las fotos: © AdobeStock

Fecha de publicación:

Octubre 2018

El proyecto Empresas de Servicios de Agua y Saneamiento para la Mitigación del Cambio Climático (WaCCliM, por sus siglas en inglés), es una iniciativa conjunta entre el Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y la International Water Association (IWA). Este proyecto es parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU) apoya esta iniciativa en base a una decisión adoptada por el Parlamento Federal Alemán.

Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Implementado por:



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



c/o Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Postfach 5180
65726 Eschborn
Alemania
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
W www.giz.de

c/o IWA - International Water Association
Alliance House / 12 Caxton Street /
London SW1H 0QS
Reino Unido
T: +44 207 654 5500
F: +44 207 654 5555
E: water@iwahq.org
W: www.iwa-network.org

Este proyecto es parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI):
www.international-climate-initiative.com/en

