

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



Alternativas en el manejo integral de lodos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

Noviembre 07, 2016

Tijuana, BC

Gabriela Mantilla Morales

Problema vs. RECURSO

- La producción de lodos de aguas residuales municipales se estimaba 640 millones Ton/año en base seca (SEMARNAT, 2008)
- Esta cantidad incrementa en función del programa de construcción de PTARs

Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Tratamiento en México



Estadísticas del Agua en México, Edición 2015
Comisión Nacional del Agua

Las plantas municipales tratan la descarga de las localidades, conformándose principalmente de vertidos domésticos.



Las industrias autoabastecidas operan sus propias plantas.



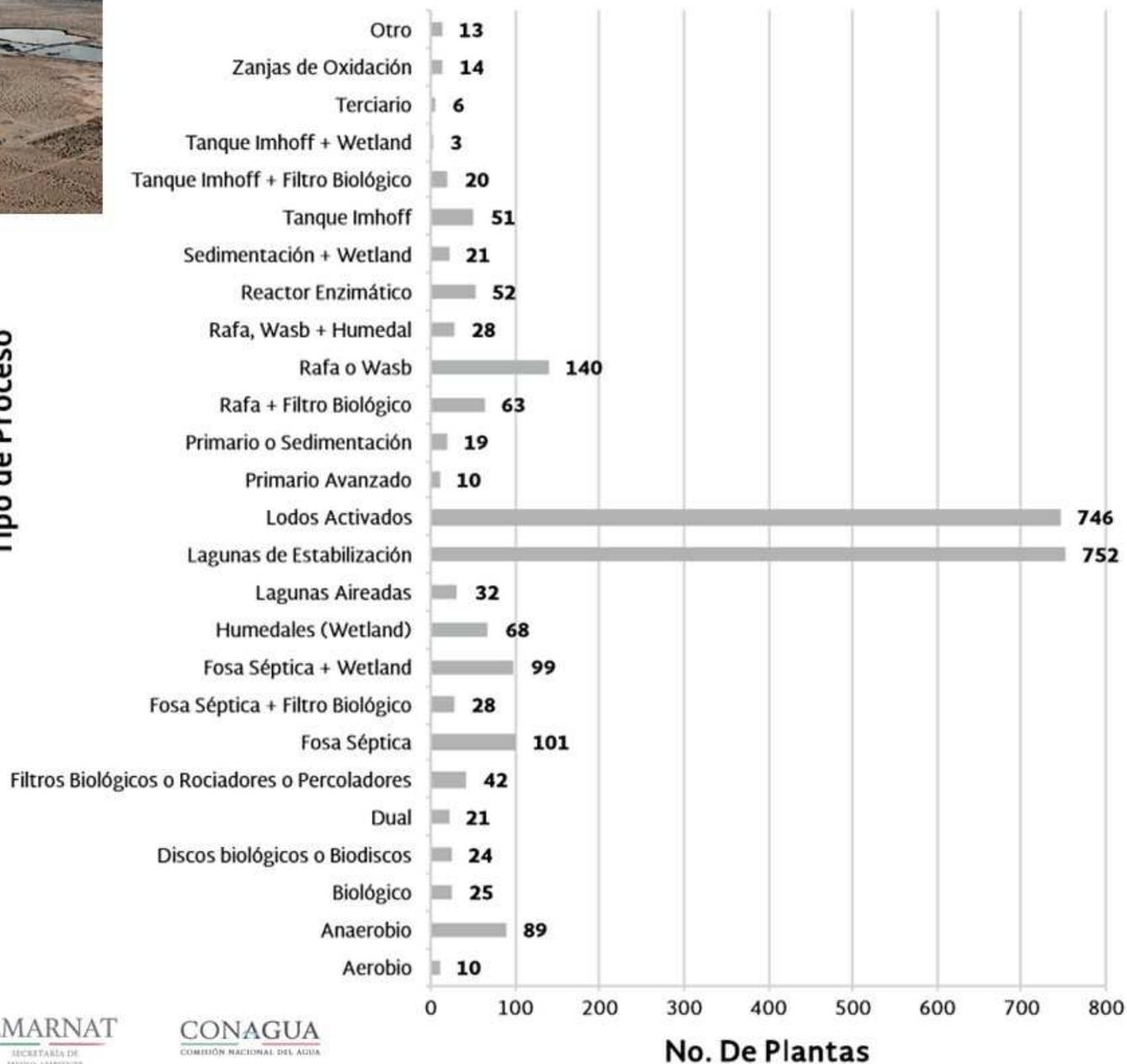
Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales 2015

- Al cierre de 2015, el registro de plantas en operación era de 2 477 instalaciones
- Capacidad instalada: 177 973.58 l/s
- Caudal tratado: 120 902.20 l/s
- Cobertura nacional de tratamiento: 57.0%

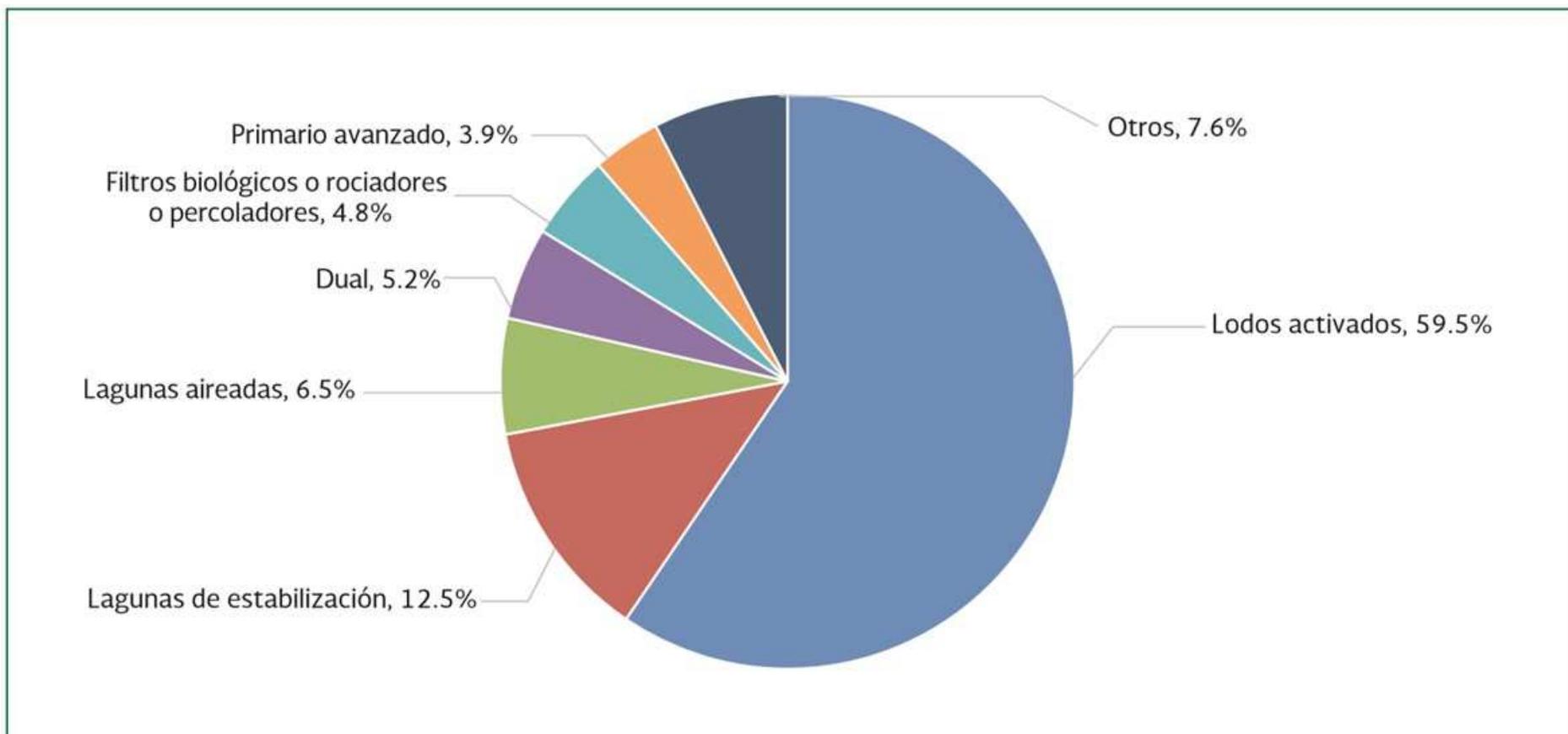


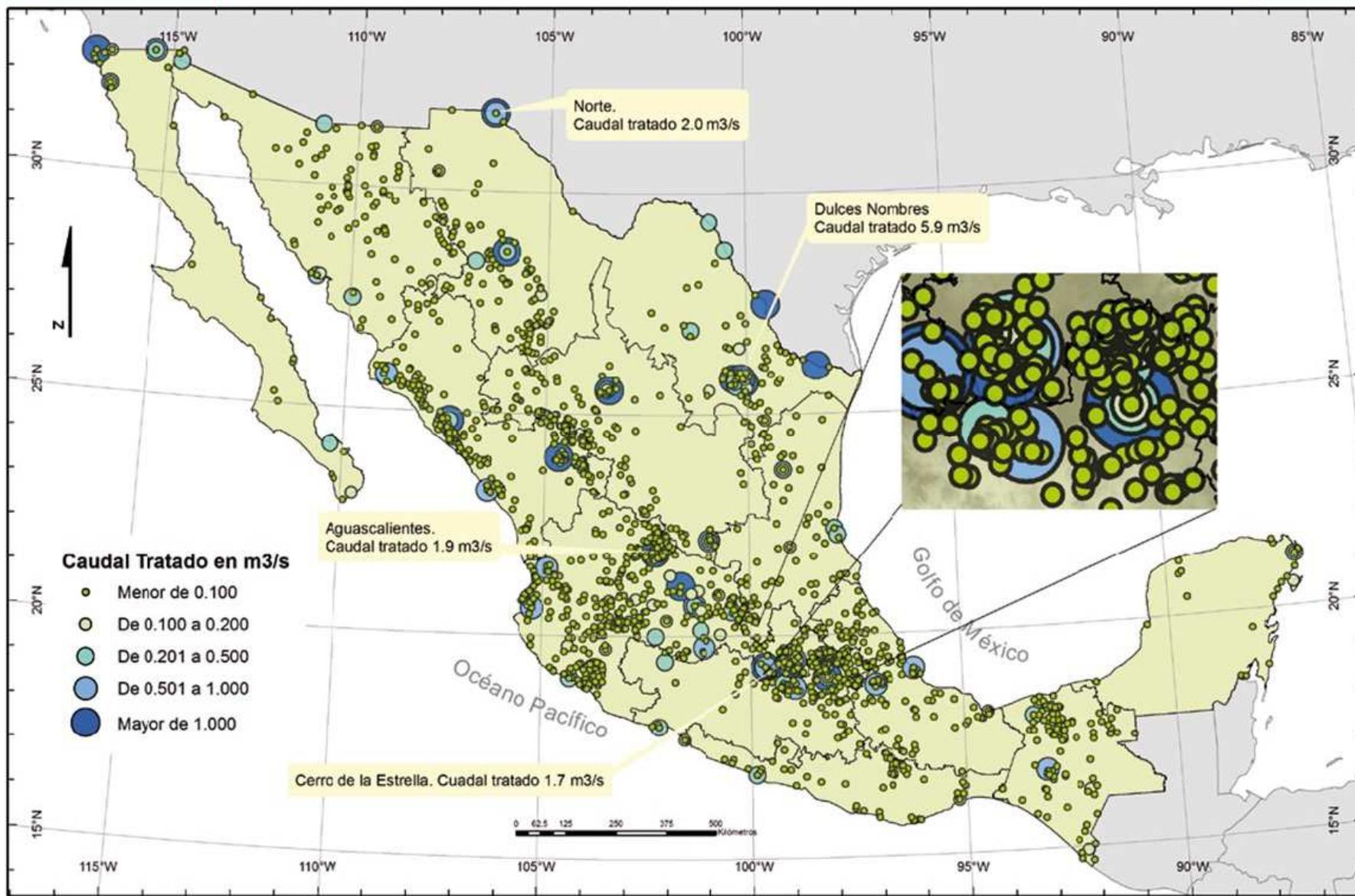
Número de plantas por proceso

Tipo de Proceso

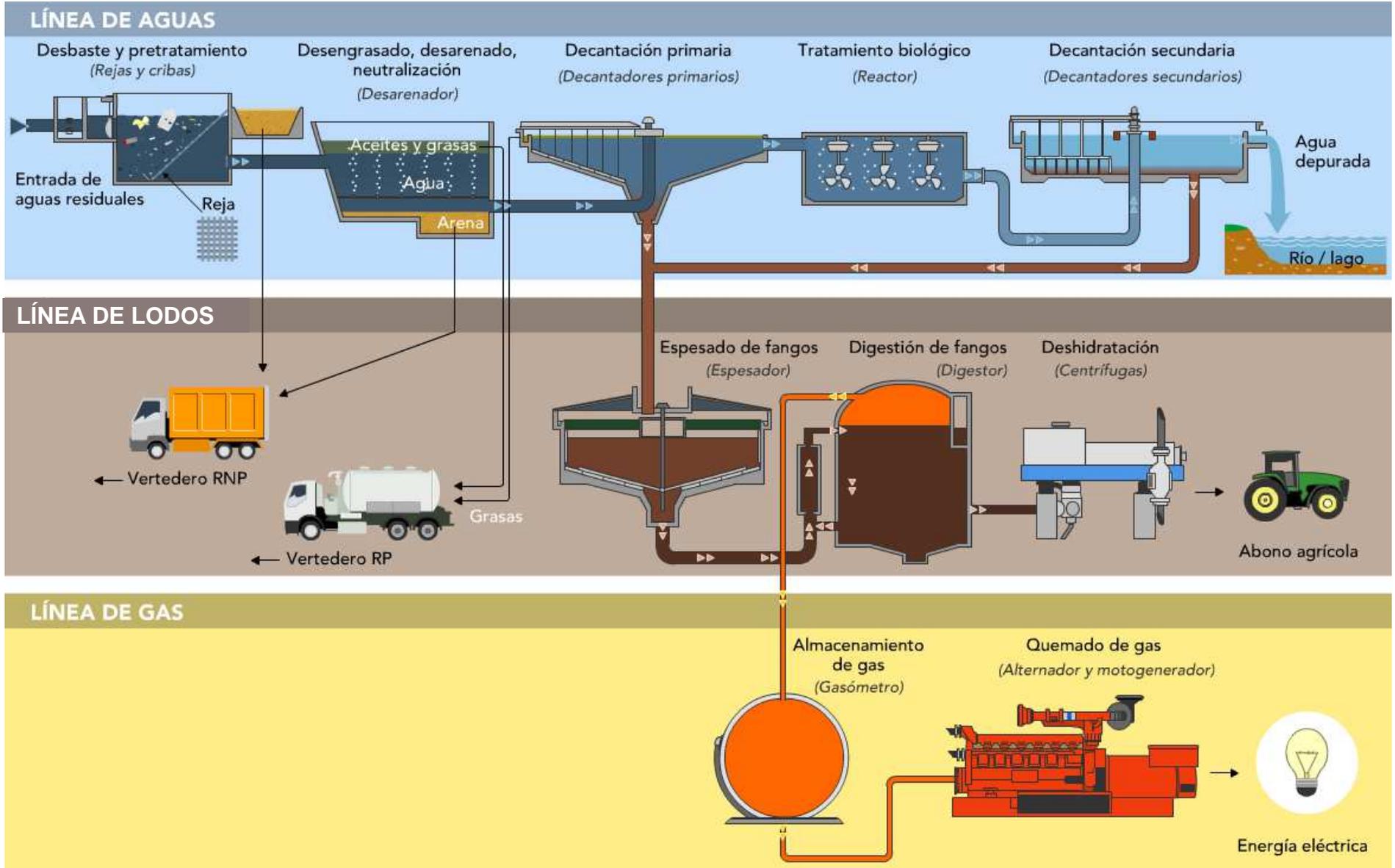


Principales procesos de tratamiento, por caudal tratado, 2014









PTARs con proceso Lodos activados

- 43 PTARs con Q: 200 L/s – 300 L/s
- 25 PTARs con Q: 300 L/s – 600 L/s
- 14 PTARs con Q: 600 L/s – 1000 L/s
- 23 PTARs con $Q > 1000$ L/s



Proceso con Lodos Activados; PTARs con $Q_{\text{diseño}} \geq 200 \text{ L/s} \rightarrow 13.94\%$

65% PTARs: Lodos Activados Convencional

24% PTARs : Zanjas Oxidación

Aeración extendida.

11%: Dual: Filtro Percolador+Lodos Activados

RAFA+Lodos Activados

Primario Avanzado+Lodos Activados

Aeración superficial

Carga orgánica

Valores de DBO: 80 mg/L hasta 480 mg/L

200 ton DBO/año – 50,000 tn DBO año

PTARs con $\geq 3,000$ L/s:

PTAR Norte, Monterrey, NL, $Q_{dis} = 3,000$ L/s

PTAR Cerro de La Estrella, CDMX, $Q_{dis} = 4,000$ L/s

PTAR Dulces Nombres, Pesquería, NL, $Q_{dis} = 7,500$ L/s

PTAR Agua Prieta, Zapopan, JAL, $Q_{dis} = 8,500$ L/s

Procesos

**Tratamiento primario
(físico)**



Eliminación de partículas gruesas y sólidos sedimentables

**Tratamiento secundario
(biológico)**



**Eliminación de materia orgánica
Eliminación de sólidos coloidales no sedimentables.**

Tratamiento terciario



**Eliminación de contaminantes Específicos
Pulimento (remoción de nutrientes)
Desinfección**

Tratamiento físico

Contaminantes
en el agua
residual



Fuerzas o
barreras
físicas



Efluente tratado

- Cribado
- Mezclado
- Sedimentación
- Filtración
- Flotación



Tratamiento biológico

Contaminantes en el agua residual (disueltos o en forma coloidal)



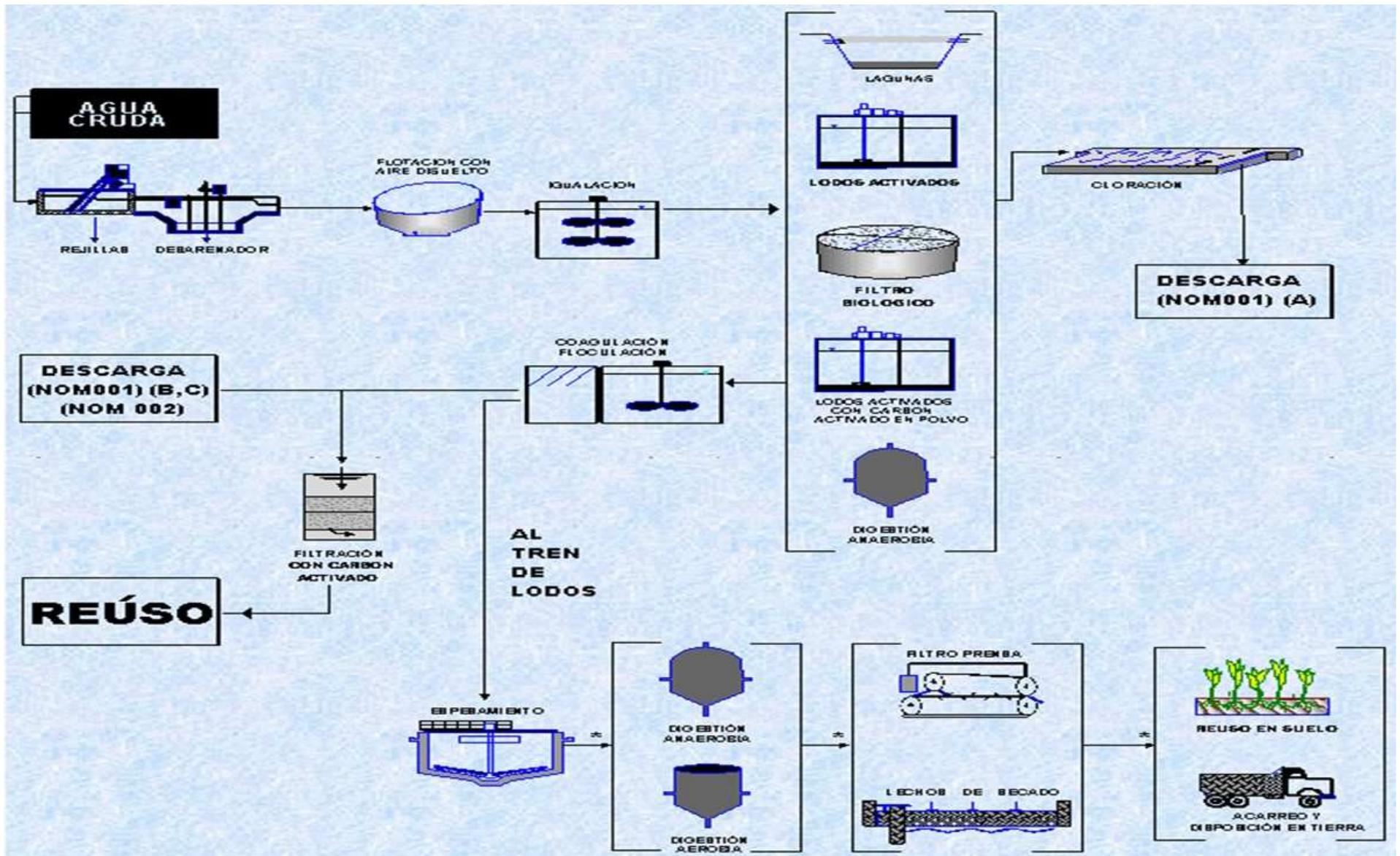
Proceso biológico



Agua tratada

- **Lagunas de estabilización**
- **Lodos activados**
- **Filtros biológicos**
- **Tratamiento anaerobio**





Tren de tratamiento convencional

Metodología para la preselección

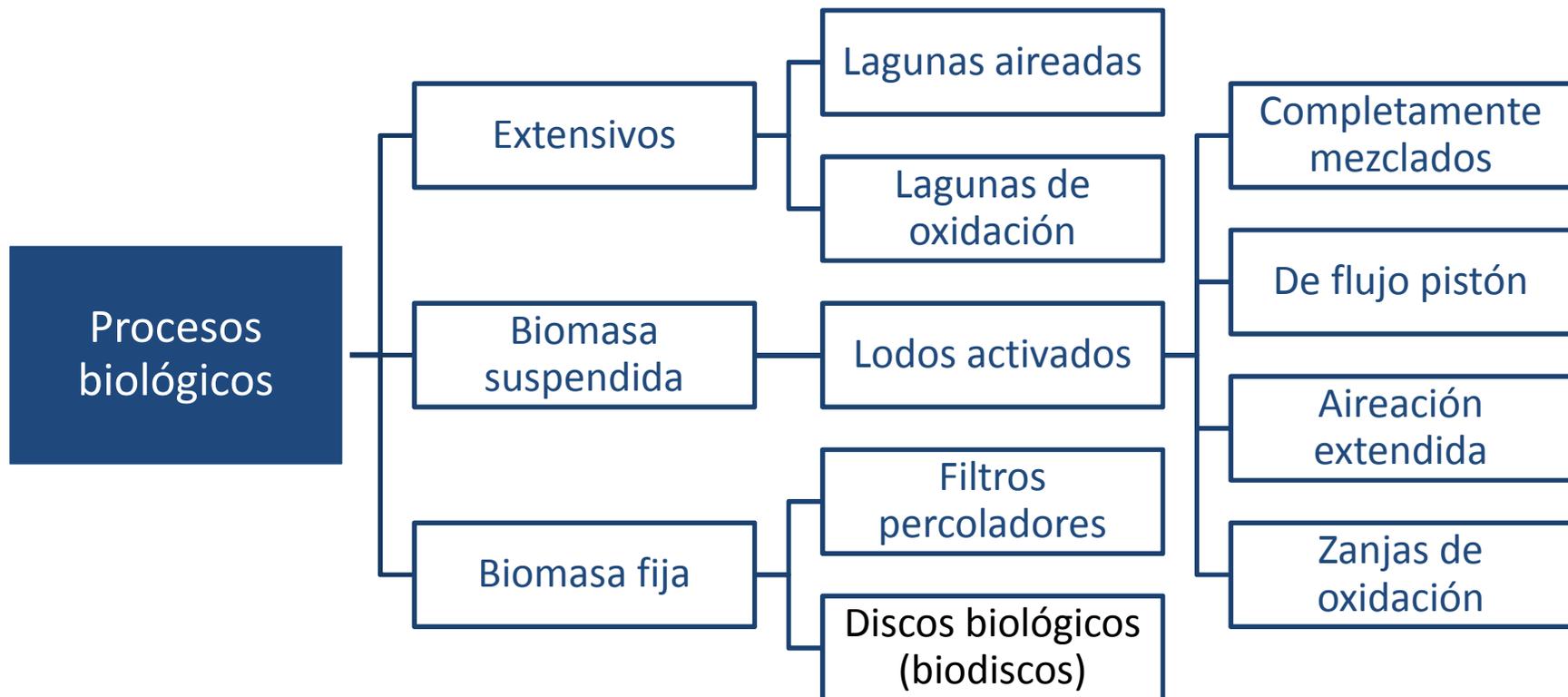
- Caudal y características del agua residual
- Área del sistema de tratamiento (disponible vs. necesaria)
- Eficiencia requerida (calidad del efluente):
¿PARA QUÉ QUEREMOS EL ART????
- Costo de inversión
- **Requerimientos de O&M**
- **Costos de O&M**
- Personal capacitado
- **Consumo de energía**
- Adaptabilidad del sistema
- Factores ambientales
- **Producción y estabilización de lodos**

Sistemas de tratamiento más comunes

- **Lodos activados (convencional, aereación extendida, zanjas de oxidación)**
- **Filtros rociadores**
- **Biodiscos**
- **Reactores anaerobios**
- **Lagunas de estabilización**
- **Lagunas aereadas**
- **Humedales**
- **Primario & Primario Avanzado**



Clasificación de procesos biológicos aerobios



LODOS RESIDUALES

Lodos Residuales

Subproductos generados por los procesos de tratamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Objetivo del tratamiento

- Disminución de materias volátiles y volumen
- Mineralización de la materia orgánica.
- Concentración de lodos
- Degradación controlada de sustancias orgánicas y eliminación de olores
- Control de organismos patógenos
- Mejoramiento de las propiedades de lodos residuales para su utilización o disposición

LODOS RESIDUALES

Sólidos generados en los diversos procesos del sistema de tratamiento de agua.

Formados por agua: 95 a 99%

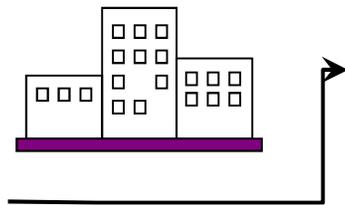
Contienen la mayor parte de la materia indeseable que es separada del agua residual

Clasificación

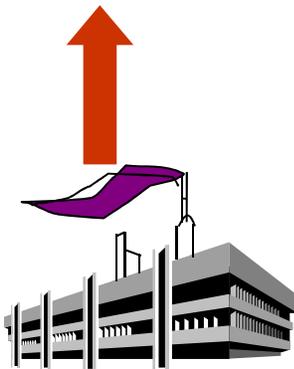
- Lodos primarios
- Lodos secundarios
- Lodos químicos

Generación, tratamiento, aprovechamiento y disposición de lodos residuales

Generación de aguas residuales



Pretratamiento en la industria

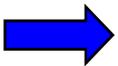


Primario



Lodo primario

Secundario



Lodo secundario

Terciario



Lodo terciario

Efluente

Tratamiento

Control de olor y reducción de patógenos

- Estabilización

Remoción de agua

- Espesamiento

- Acondicionado

- Desaguado

- Secado

Disposición final

- Aplicación al suelo
- Composteo, distribución y mercadeo
- Incineración
- Relleno sanitario

TIPOS DE LODO RESIDUAL

Tipo de lodo	Origen	% Sólidos	Características
Lodo primario	Sedimentación primaria	3 - 7	Alto contenido de materia orgánica
Lodo secundario	Tratamiento biológico (Procesos anaerobios, lodos activados, biofiltros y biodiscos)	0.5 - 2	Constituido principalmente por biomasa. Difícil de deshidratar
Lodo terciario o tratamiento químico	Coagulación – floculación, filtración, precipitación química	Variable hasta 50%	Dependen del proceso de tratamiento aplicado

Características físicas del lodo residual

Parámetro	Definición	Determinación
Gravedad Específica	Relación de peso del material con respecto a un volumen igual de agua	$\frac{I}{S_s} = \sum_{n=1}^x \left(\frac{W_i}{S_i} \right)$ <p> S_s = Gravedad específica del lodo W_i = Fracción de peso del <i>iésimo</i> componente del lodo. S_i = Gravedad específica del <i>iésimo</i> componente. </p>
Sólidos totales (ST)	Contenido total de sólidos en un lodo	Secado de muestra a 103-105° C Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Totales Volátiles (STV)	Representan la materia orgánica y los compuestos que puedan evaporarse a una temperatura de 550°C	Evaporación a 550°C de la muestra que se ha secado previamente a 103°C para determinar ST Norma Mexicana NMX-AA-034
Sólidos Totales Fijos (STF)	Representa el material remanente o cenizas después de determinar los SV	Se determina por diferencia de peso $STF = ST - STV$ Norma Mexicana NMX-AA-034

Características físicas del lodo

Parámetro	Definición	Determinación
Sólidos suspendidos (SST)	Materia en suspensión que existe en el líquido y que se retiene en un filtro de fibra de vidrio 1.58 μm . Clasificación: SSV y SSF, cuando los SST se queman a 550°C	Secado de muestra remanente en filtro Temp: 103°C - 105 ° C NMX-AA-034
Sólidos Sedimentables	Sólidos que sedimentan fácilmente por gravedad y se expresan en mL/L	Se determina en un cono Imhoff durante 30' NMX-AA-004
Resistencia específica	Capacidad de filtración de los lodos a una presión determinada. Se expresa en m/kg o seg^2/g .	Se determina al filtrar un muestra de lodo a una presión determinada
Capacidad calorífica	Capacidad de combustión de un lodo	Se determina por combustión de la muestra

SÓLIDOS	FRACCIÓN TOTAL	FRACCIÓN VOLÁTIL	FRACCIÓN FIJA
Totales	STT	STV	STF
Suspendidos	SST	SSV	SSF
Disueltos	SDT	SDV	SDF

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LODO

Parámetros	Constituyentes	Ejemplo
Inorgánicos	Arena, arcilla, materia mineral en suspensión, etc.	
	Metales pesados	Zn, Cu, Co, Ni, Cd, etc
	Nutrientes	N, P, K
	Aniones	Cloruros, sulfatos, nitratos, cianuros, sulfuros, etc
	Cationes	Ca, Mg, Na, K, etc.
Orgánicos	Materia orgánica (fibras de origen vegetal, grasas y aceites, almidones, ligninas, etc.)	DBO DQO COT
	Tóxicos orgánicos	COVs, COSVs, Pesticidas Difenilos policlorados

Microorganismos en el lodo residual

Microorganismos	Tipo
Bacterias	Aerobias, facultativas y anaerobias
Hongos	Levaduras y hongos saprófitos
Algas	Presencia de gran cantidad de especies principalmente procedentes de sistemas de tratamiento lagunares
Macrofauna	Gusanos, larvas de insectos y crustáceos
Microorganismos patógenos	
Microorganismos indicadores	Coliformes fecales y totales
Bacterias patógenas	<i>Salmonella</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Protozoarios y parásitos	Huevos de Helminto, Giardia Entamoeba Histolítica

Características

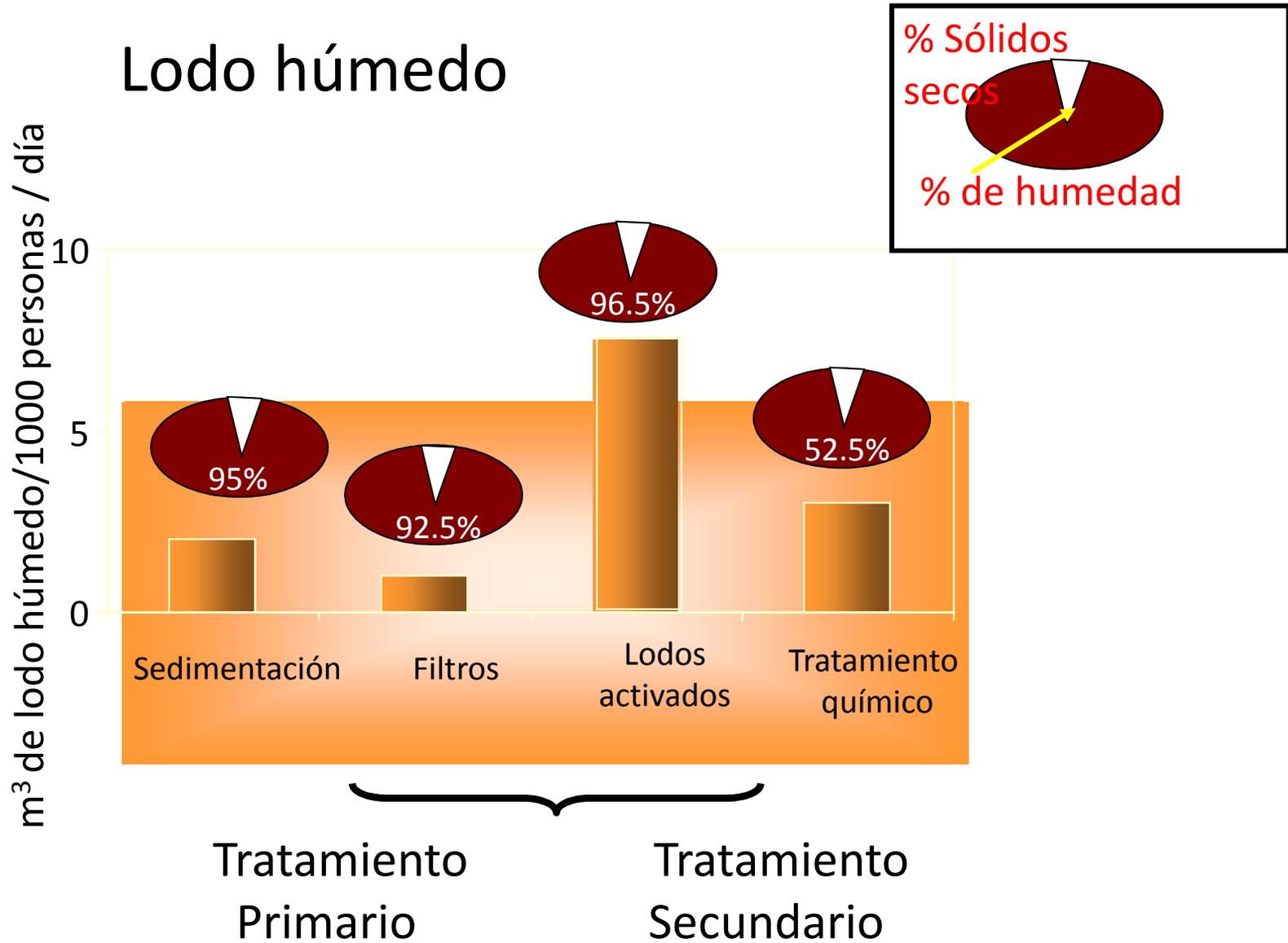
Características	Concentración
Poca estabilidad	Reducción de STV menor de 38%, producción de olores y atracción vectores.
Alta salinidad	Conductividad eléctrica mayor a 3 mS/cm
Biológico infeccioso	Alta concentración de microorganismos patógenos.
Toxicidad	Presencia de compuestos tóxicos Orgánicos: plaguicidas, Bifenilos policlorados; Inorgánicos: metales pesados

Producción de lodos residuales

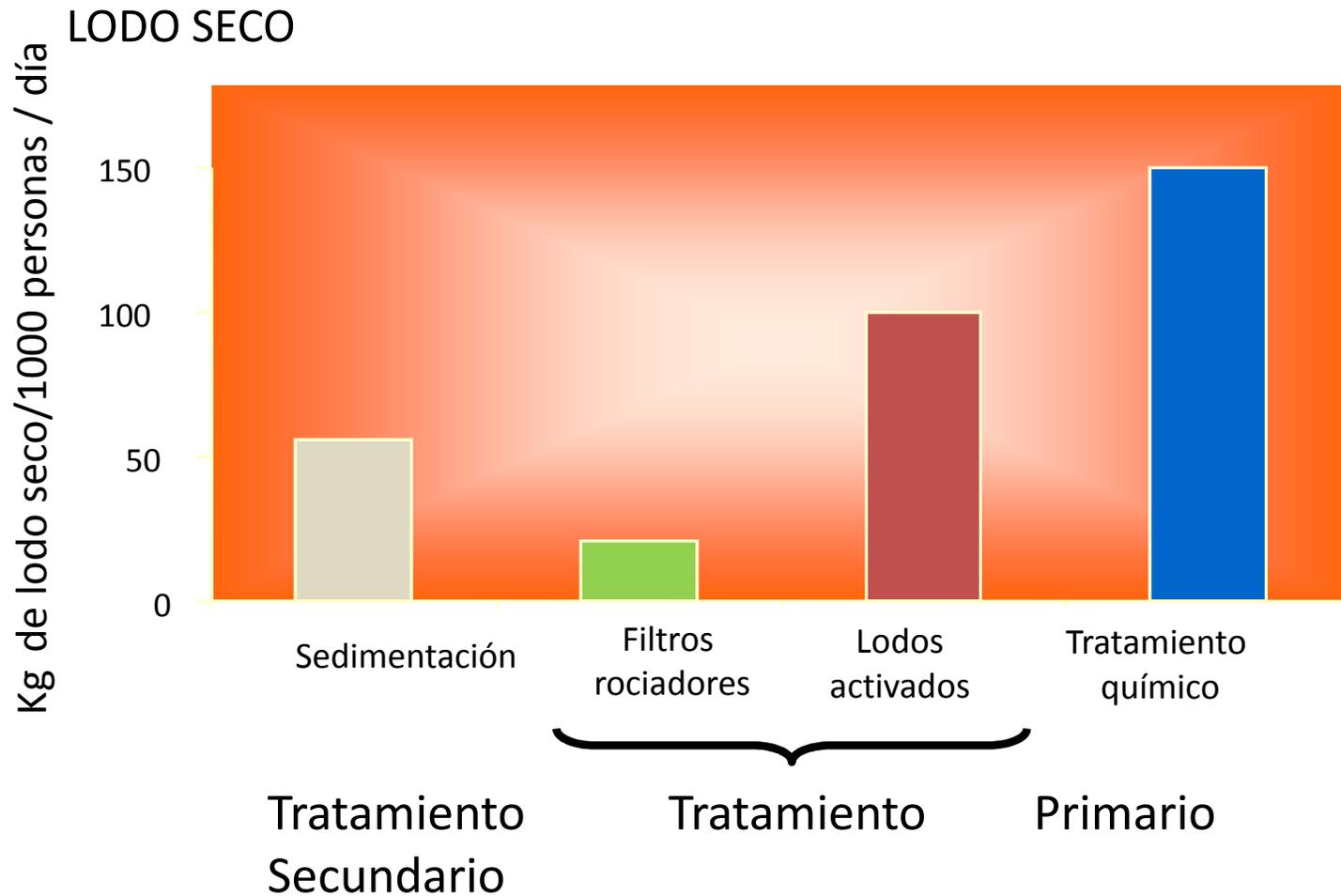
Proceso	Sólidos secos (g/persona-día)
Primario	80
Secundario	115
Secundario, con remoción de N y P	145

Producción de lodos

Lodo húmedo



Producción de lodos



1 m³ = 264.2 gal

1 kg = 2.205 lb

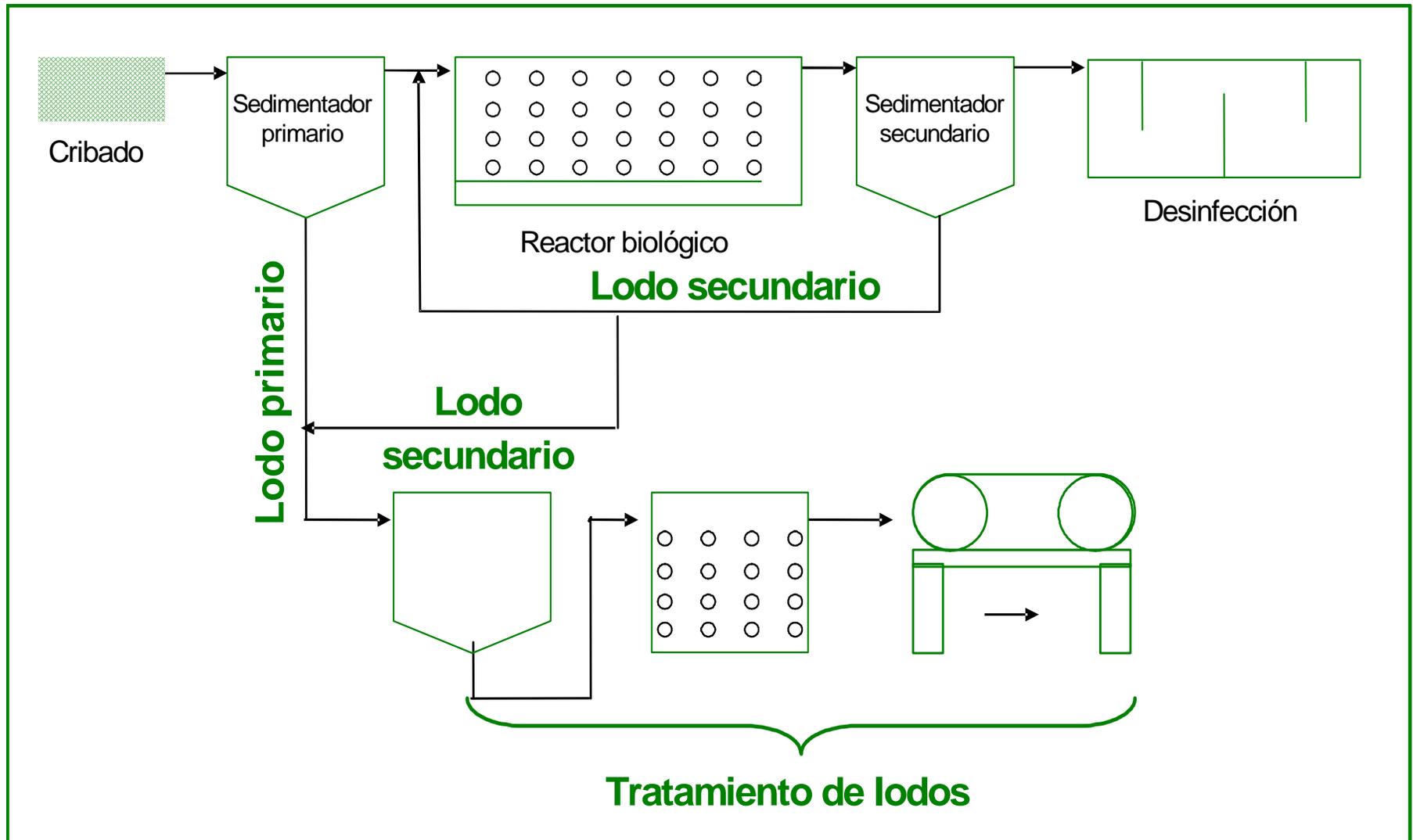
Fuente: EPA, 1989.

Características y producción de lodos residuales

Proceso	Gravedad específica lodo	Peso seco Kg/1000 m³
Sedimentación primaria	1.02	110-170 (150)
Lodos activados	1.005	70-100 (80)
Filtros percoladores	1.025	60-100 (70)
Aeración extendida	1.015	80-120 (100)
Lagunas aeradas	1.01	80-120 (100)
Filtración	1.005	12-24 (20)

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

Producción de lodos



CARACTERÍSTICAS DEL LODO SEGÚN SU ORIGEN

Lodo	Descripción
Tamizado	Todo tipo de basura, material orgánico e inorgánico removido en rejillas o tamices
Arenas	Partículas que sedimentan con alta velocidad especialmente arenas y algunas partículas orgánicas, grasas y aceites
Grasas	Grasas provenientes de la superficie de los sedimentadores primarios y secundarios (grasas minerales y vegetales, detergentes, desechos de alimentos, desechos plásticos, papel, algodón y materiales similares) Gravedad específica entre 1.0 y 0.95

Características del lodo

Lodo	Descripción
Lodo primario	Alta concentración de materia orgánica Olor extremadamente ofensivo
Lodo tratamiento químico	Lodo de precipitación con sales metálicas, generalmente de color oscuro, por presencia de hierro. El lodo encalado es de color café claro. Lodos de tratamientos con aluminio y hierro son gelatinosos. Tienen mal olor, pero no tan ofensivo como los lodos primarios
Lodos activados	Lodos de color café. Séptico, si el lodo es oscuro Falta aeración o sedimentación difícil, lodo muy claro Lodo típico: olor a tierra mojada. Puede descomponerse rápidamente y generar muy mal olor

Características del lodo

Lodo	Descripción
Filtros y biodiscos	Tienen aspecto de un humus. Se descomponen lentamente y generan menos olor. Se estabilizan con facilidad
Digestión aerobia	Color café a café oscuro y apariencia floculenta. Si están bien estabilizados no producen mal olor y se deshidratan bien en lechos de secado
Digestión anaerobia	Color oscuro o negro y contienen altas cantidades de gases. Producción gas metano.

Fuente: Metcalf and Eddy, 2003.

Tipos de agua en el lodo residual

Agua particulada

Se encuentra enlazada químicamente en cada una de las partículas.

Agua capilar

Se adhiere a cada una de las partículas y que puede ser eliminada si el lodo es compactado.

Agua de flóculo

Englobada dentro de los flóculos. Puede removerse por medios mecánicos.

Agua libre

No está adherida a los sólidos que componen al lodo. Se elimina por sedimentación.

La clasificación el agua contenida en los lodos puede utilizarse para evaluar la aplicabilidad de un proceso de espesamiento o de secado.

Características contaminantes

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN
Poca estabilidad	Reducción de STV<38%
Alta presencia de microorganismos indicadores y patógenos	COLIFORMES FECALES HUEVOS DE HELMINTO
Conductividad Eléctrica	2 – 20 mS/cm
Metales Pesados	Cd, Cr, Pb, etc

NORMATIVIDAD

NOM – 052- SEMARNAT 2005

- ◆ Regula residuos peligrosos (CRIT)
- ◆ Corrosividad
- ◆ Reactividad
- ◆ **Explosividad**
- ◆ Toxicidad
- ◆ Inflamabilidad

NOM-004-SEMARNAT-2002

- ◆ Establece las especificaciones y LMP de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final
- ◆ Los generadores deben controlar la atracción de vectores, lo cual se comprueba con una **reducción de sólidos volátiles por lo menos de 38%**. El anexo 1, recomienda varias alternativas para este propósito
- ◆ Establece LMP para metales pesados, patógenos y parásitos

LMP DE METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS

Contaminantes (TOTALES)	Excelente mg/kg de lodo en base seca	Bueno mg/kg de lodo en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2,800	7,500

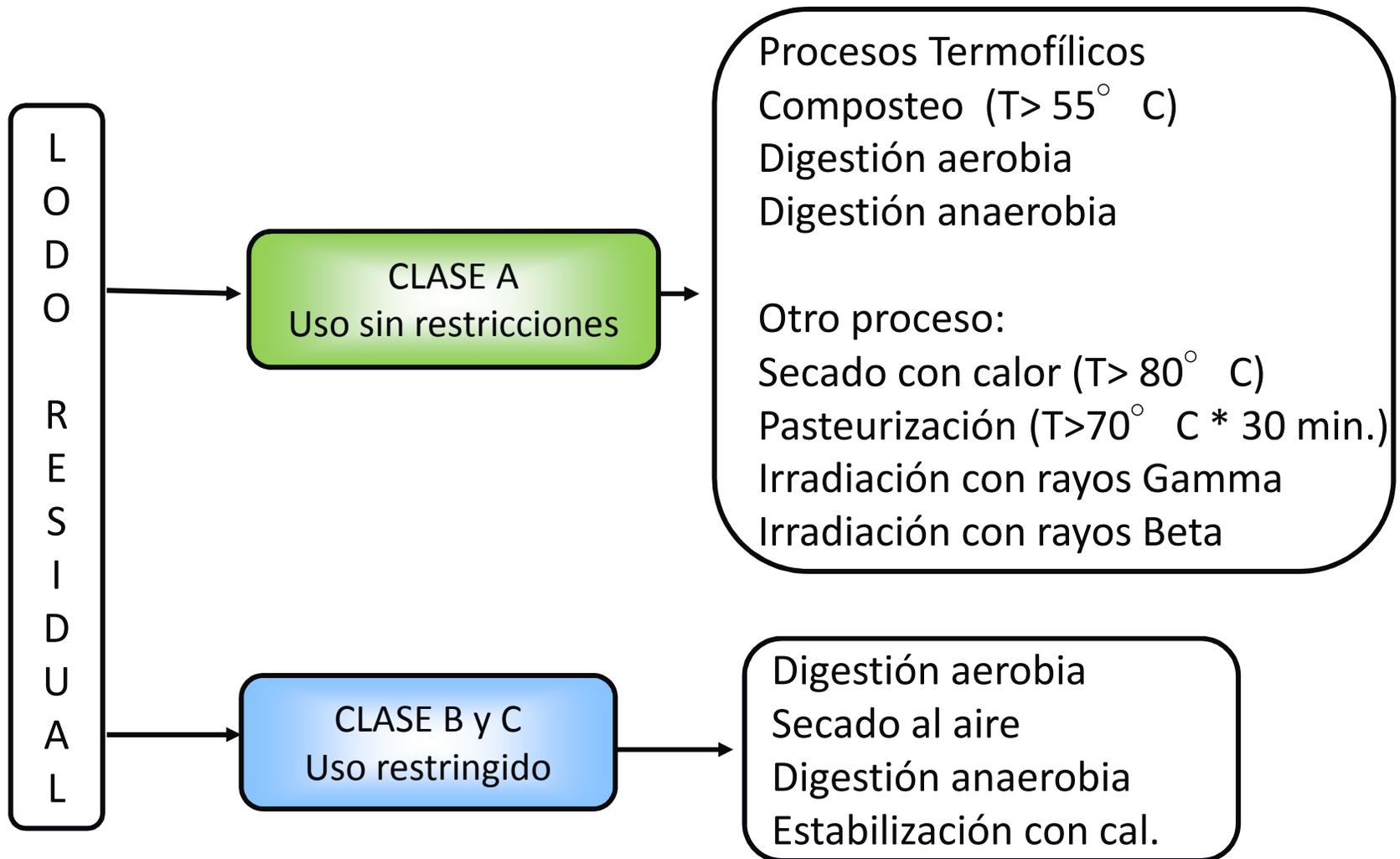
LMP DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN LODOS Y BIOSÓLIDOS

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes Fecales NMP/g base seca	Salmonella spp NMP/g base seca	Huevos de helminto/g base seca
A	<1,000	<3	<1
B	<1,000	<3	<10
C	<2,000,000	<300	<35

Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para la Clase C.
Excelente o bueno	C	Usos forestales. Mejoramiento de suelos. Usos agrícolas.

Tratamiento de lodos



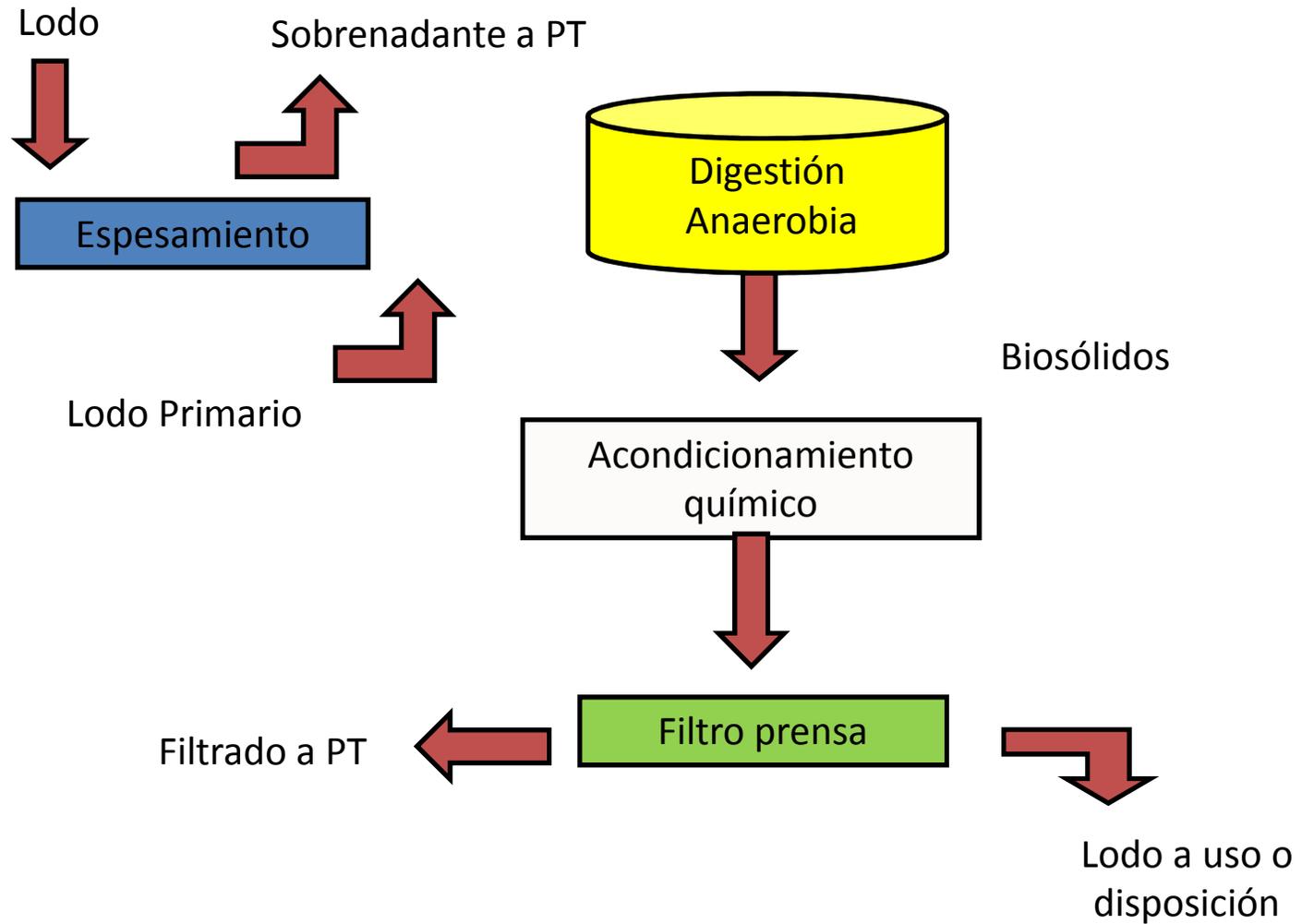
Alternativas tecnológicas

PROCESOS FÍSICOS

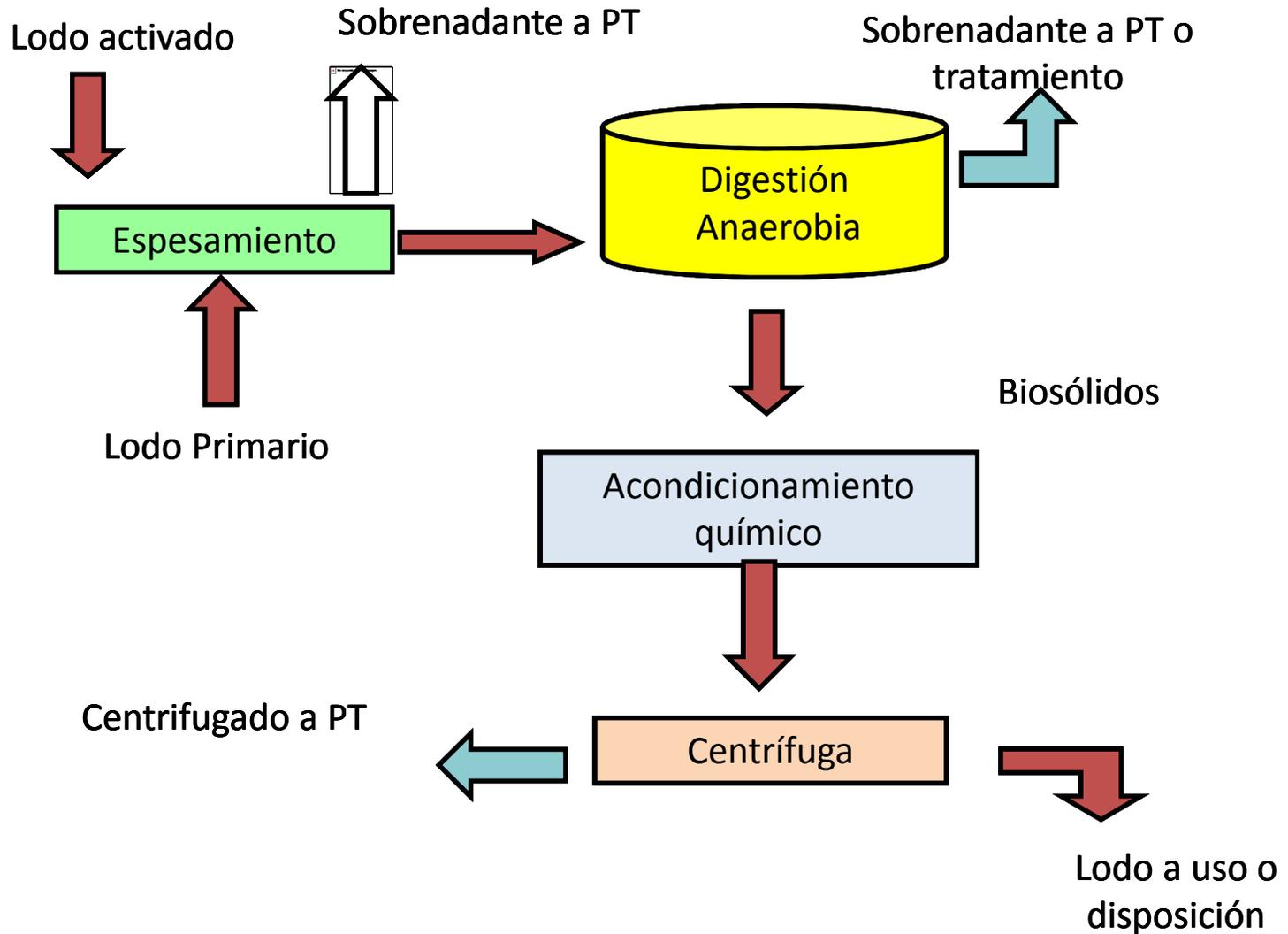
Espesamiento	Deshidratación	Procesos químicos	Procesos biológicos	Procesos térmicos	Disposición
Espesamiento por gravedad	Filtro al vacío	Acondicionamiento	Digestión aerobia	Incineración	
Espesamiento por flotación	Filtro de bandas	Neutralización	Digestión anaerobia	Vitrificación	Relleno
Centrifugación	Filtro Prensa	Extracción	Composteo	Oxidación con aire húmedo	Reciclo
Espesamiento filtros de bandas	Centrifugación	Oxidación Reducción	Tratamiento en tierra	Desorción	Aplicación en tierra
	Lechos de sacado	Estabilización Solidificación		Cristalización	
	Evaporación secado	Declaración			
	Prensa de tornillo				

TRENES DE TRATAMIENTO

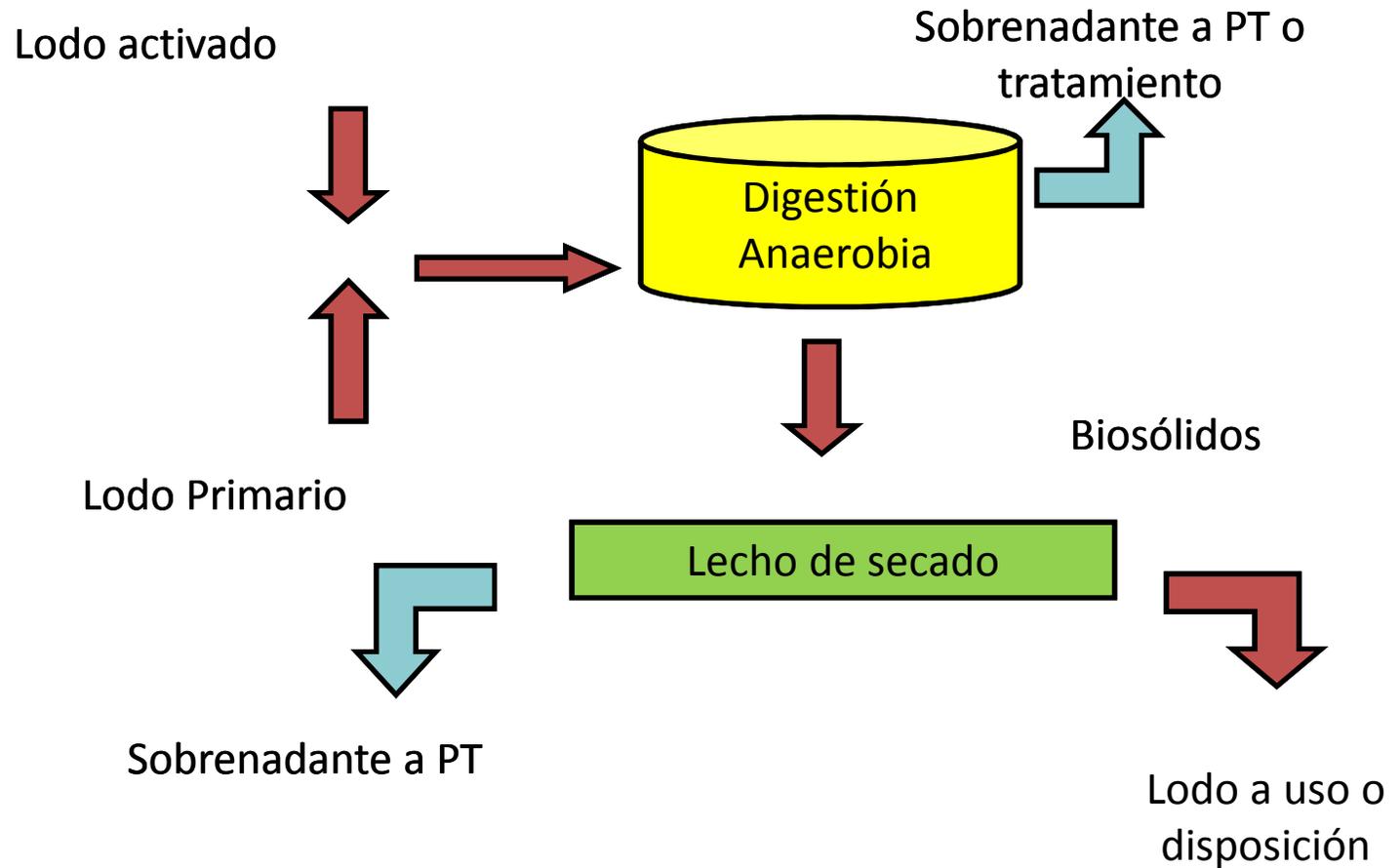
TREN DE TRATAMIENTO DE LODO



TREN DE TRATAMIENTO DE LODO



TREN DE TRATAMIENTO DE LODO



Espesamiento y Deshidratación de lodos residuales

- El espesamiento aumenta el contenido de sólidos en el agua hasta un 4-10%.
- La deshidratación aumenta el contenido de sólidos en el agua hasta un 20-30%, y ya se obtiene un sólido o torta de lodos.

- La eliminación de agua debe realizarse antes de la digestión, el composteo, el relleno sanitario, etc ya que disminuye:
 - La capacidad de tanques y de equipos necesarios
 - La cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del lodo
 - La cantidad de calor necesario para calentar los digestores y la cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración, o para ambos.

CARACTERÍSTICAS y PRODUCCIÓN DE LODOS

Operación o proceso	Gravedad específica de lodo	Peso seco Kg/1000 m³
Sedimentación primaria	1.02	110-170 (150)
Lodos activados	1.005	70-100 (80)
Filtros percoladores	1.025	60-100(70)
Aeración extendida	1.015	80-120(100)
Lagunas aeradas	1.01	80-120 (100)
Filtración	1.005	12-24 (20)

Fuente: Metcalf and Eddy, 2003.

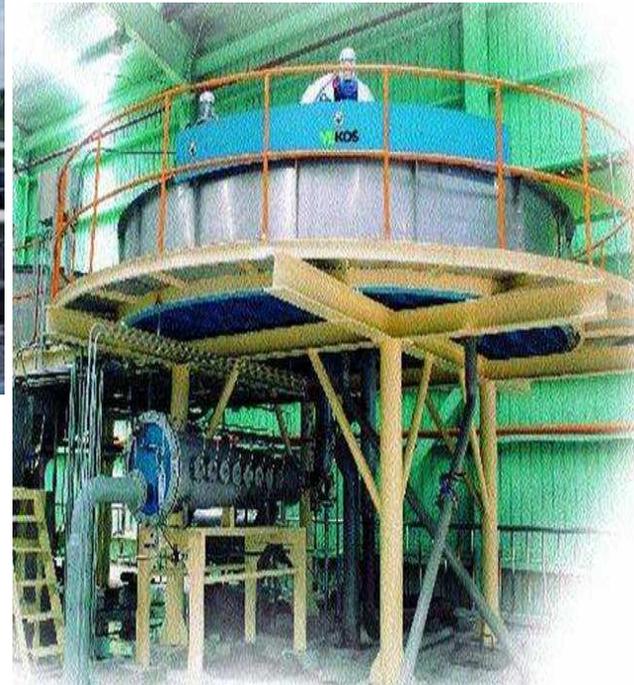
ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN

ESPESAMIENTO	DESHIDRATACIÓN
Espeamiento por gravedad	Filtro al vacío
Espeamiento por flotación	Filtro de bandas
Centrifugación	Filtro Prensa
Espeamiento filtros de bandas	Centrifugación
	Lechos de secado
	Evaporación Secado
	Prensa de tornillo

Reducción del volumen de lodo Tratamiento Físico

REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DEL LODO, %	PROCESO	FUERZA FÍSICA	CONTENIDO DE AGUA EN EL LODO ESPESADO, %
De 5% al 10% del volumen inicial	Espesamiento	Gravedad, flotación	85- 95
Del 15 al 35% del volumen inicial	Deshidratación	Presión o vacío, fuerza de gravedad incrementada artificialmente	60-85
Del 50 al 80% del volumen inicial	Secado	Para lodo tratado biológicamente: evaporación natural, calentamiento ligero. Para lodo no tratado: calentamiento intenso o congelamiento	40-60 0-60

Equipo utilizado para el espesamiento de lodo



Filtro prensa

Los filtros prensa operan mediante la aplicación de presión elevada (5 – 15 bares, o más)

Operación intermitente y costos elevados de inversión

Filtro prensa de placas



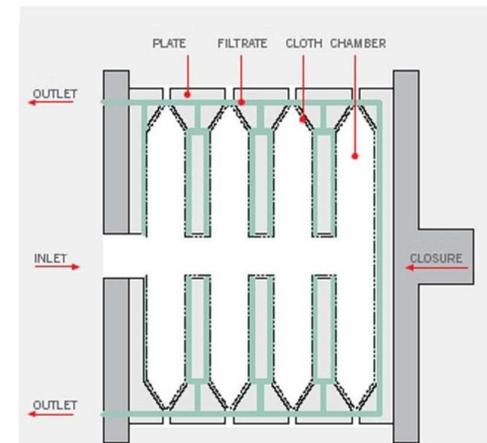
La capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m^2 de superficie de filtración. para cada modelo de filtro de prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del numero de placas del filtro.

En términos prácticos, el tiempo de prensado es menor de cuatro horas.

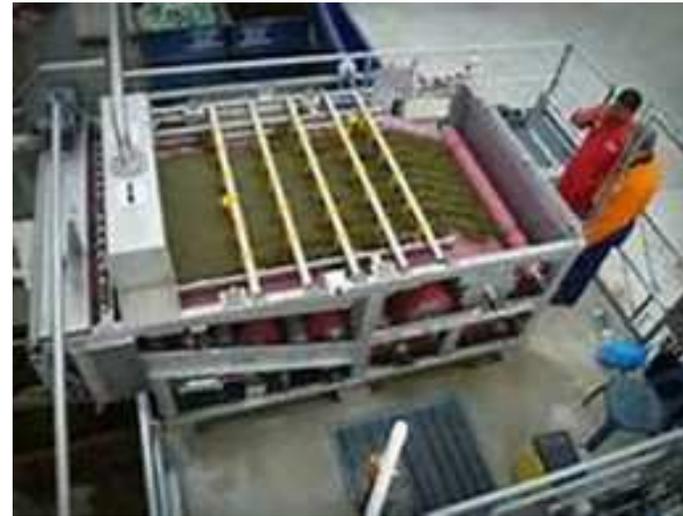
La filtración depende del espesamiento de la pasta, concentración de lodo, resistencia específica y coeficiente de compresibilidad.

Ventajas: aceptan lodo con distinta capacidad de filtración. Es recomendable espesar el lodo antes de la operación en el filtro de prensado.

Presenta condiciones de operabilidad seguras y con pocos riesgos.



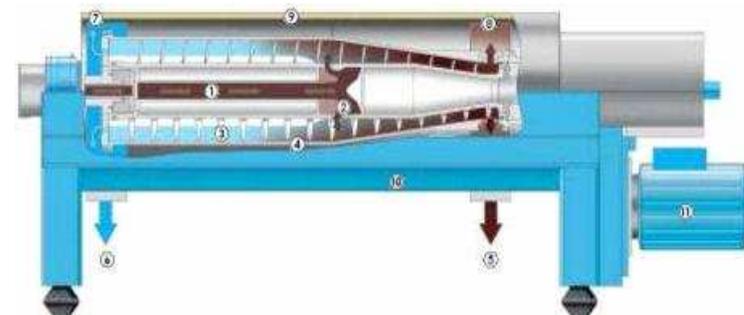
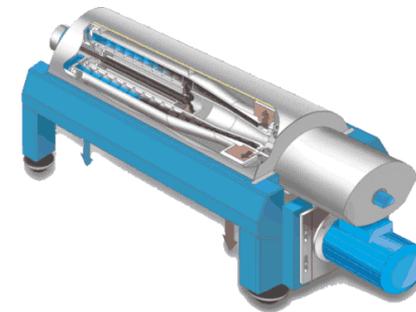
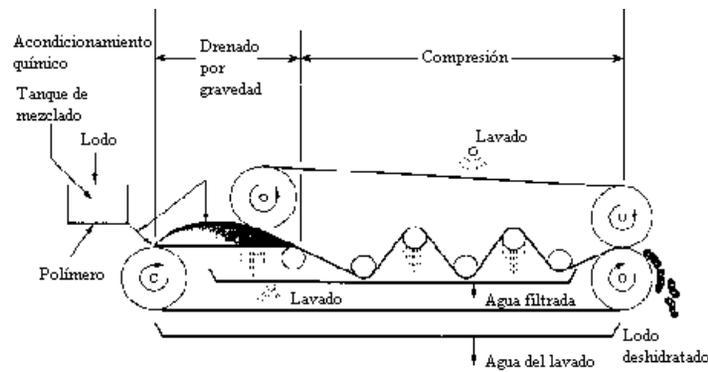
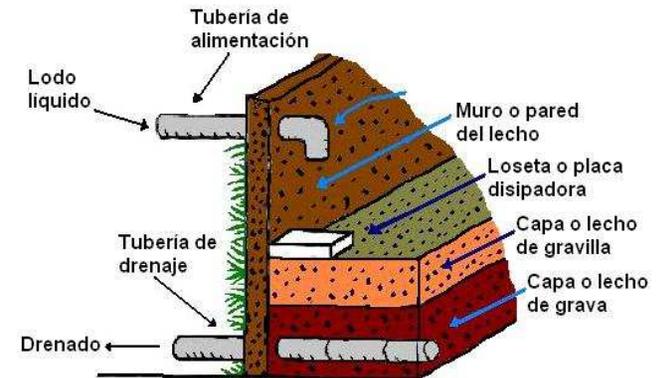
Filtro banda



Desde 0.5 hasta 36 m³/h
Ancho de banda: 0.5 m – 3.0 m
Económico y eficiente
Bajo consumo de polielectrolito



Equipo utilizado para la deshidratación de lodo



ESTABILIZACIÓN DE LODO

Tratamientos utilizados para evitar que el lodo sufra una descomposición biológica espontánea, que cause problemas de olor, contaminación y genere daños a la salud

Estabilización de lodo

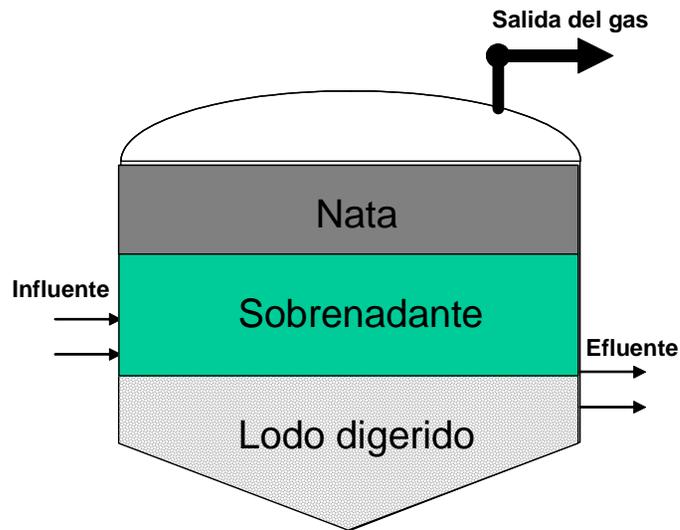
ESTABILIZACIÓN	PROCESO	MÉTODO
Biológica	Digestión anaerobia	-Sin calentamiento (laguna o tanque) -Con calentamiento mesofílica (25 a 35°C) -Termofílica (45 a 55°C)
	Digestión aeróbica oxidativa	-Sin calentamiento -Autotérmica (45-70°C) con aire con oxígeno
	Proceso dual	Digestión autotérmica oxidativa, seguida por digestión anaerobia
	Composteo	-Pila estática -Camellón -Reactores
Química	-Adición de hidróxido de calcio (pH>12) -Adición de agentes oxidantes -Modificadores del olor o bactericidas	Hidróxido de calcio hidratado al lodo líquido -Adición de óxido de calcio a lodos líquidos o sólidos -Cloración, peróxidos, otros agentes oxidantes, bactericidas orgánicos

ESTABILIZACIÓN ANAEROBIA

Es la estabilización de sustancias orgánicas complejas por microorganismos en ausencia de oxígeno. Los productos de la digestión anaerobia son: gases, células y lodos con una fracción mineral cercana al 60% (lodos estabilizados). Durante las reacciones se libera energía y la materia orgánica se convierte en metano, dióxido de carbono y agua

ETAPA	Proceso
Acidogénesis	Bacterias productoras de ácidos degradan la materia orgánica a ácidos volátiles.
Metanogénesis	Las bacterias formadoras de metano convierten los ácidos a metano y dióxido de carbono.

ESTABILIZACIÓN ANAEROBIA

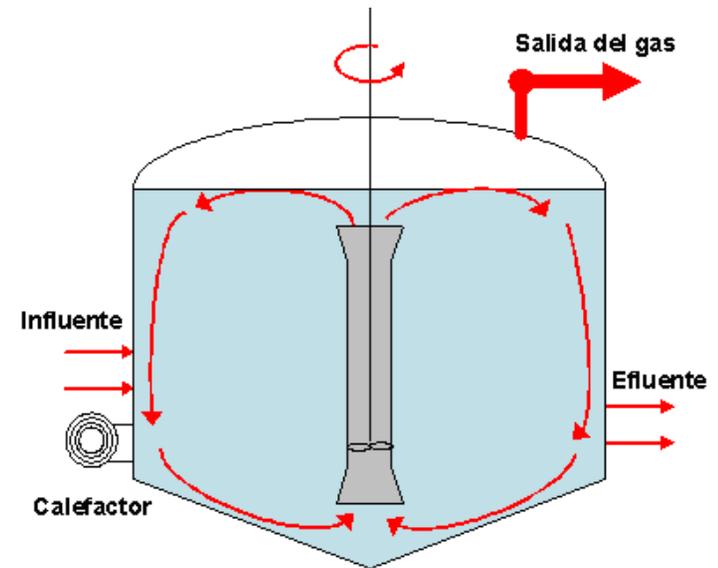


REACTORES DE BAJA TASA

Operación intermitente

Tiempo de retención hidráulico: 30-90 d

Carga de lodos: 0.4 – 1.6 kg SSV/m³/d



REACTORES DE ALTA TASA

- Operan en rangos de temperaturas mesofílicas (30-38°C) y termofílicas (50 – 60°C), deben de estar aislados del medio.
- Requieren de un mezclado para mantener una distribución uniforme.
- Alimentación continua o por lotes en intervalos de 30 a 120 minutos
- Tiempo de retención variable: 10 - 15 d
- Carga 8.0 kg/SSV/m³/d.

CRITERIOS DE ESTABILIZACIÓN



Un digester típico de alta tasa reducirá el contenido de sólidos volátiles del lodo entre 40 y 65 %.

Calidad de gas: La producción de gas es directamente proporcional a la cantidad de sólidos volátiles eliminados. Se expresa como volumen de gas por unidad de masa de sólidos volátiles eliminados (m^3/kg SV eliminado)

Ventajas	Desventajas
Produce metano (fuente de energía)	Altos costos de capital
Disminuye la masa total de lodo entre 25 y 45%	Susceptible a perturbaciones. Cambios bruscos en el ambiente
Produce un residuo adecuado para usarse como acondicionador de suelo	Produce un sobrenadante de mala calidad
Inactiva microorganismos patógenos si la digestión se realiza a temperatura termofílica, 50-60°C	Las bacterias productoras de metano crecen a baja velocidad

Destrucción de SV en digestión anaerobia

- Reducción de SV en un digestor de alta tasa y completamente mezclado (Liptak,1974)

$$V_d = 13.7 \ln (SRT) + 18.9$$

- V_d = Destrucción de sólidos volátiles en %
- SRT = Tiempo de digestión (rango 15 - 20 d)

ESTABILIZACIÓN AEROBIA

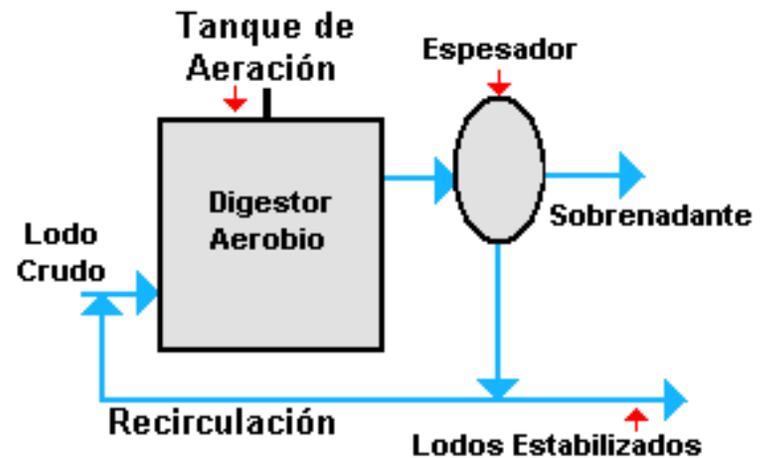
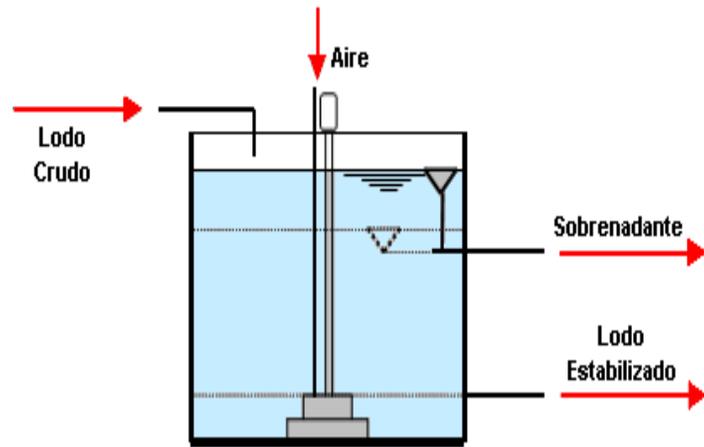
Se realiza en respiración endógena, ocurre cuando hay poco sustrato disponible y continúa la aeración de los lodos biológicos. Los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para reacciones de mantenimiento de las células.

- El tejido de la célula es oxidado a CO_2 , H_2O y NO_3
- 75% - 80 % del total de las células es oxidado
- 20 - 25 % restante no son biodegradables.

Variantes del proceso de digestión

- o Digestión aerobia convencional
- o Digestión aerobia con oxígeno puro
- o Digestión aerobia termofílica autotérmica

ESTABILIZACIÓN AEROBIA



Ventajas	Desventajas
Costo de inversión menores que para digestión anaerobia para PTARs con $Q < 220$ L/s	Difícil de deshidratar por medio mecánicos
Más fáciles de operar que los digestores anaerobios	Altos costos de energía para suministrar el oxígeno, aún en plantas pequeñas
No genera malos olores	La eficiencia depende de la temperatura, localización y tipo de material del tanque

ESTABILIZACIÓN ALCALINA

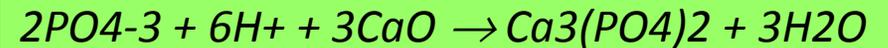
- La adición de cal hace al lodo químicamente estable
- Si el pH < 11, la descomposición biológica se reanuda. Produce olores nocivos
- No hay reducción en la cantidad de lodo para su disposición, como ocurre con los métodos de estabilización biológica
- La masa del lodo seco aumenta por la adición de cal y por la precipitación química que se deriva del proceso

Reacciones con constituyentes inorgánicos

Calcio



Fósforo

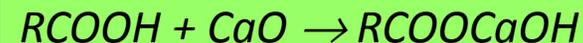


Dióxido de carbono



Reacciones con constituyentes orgánicos

Ácidos

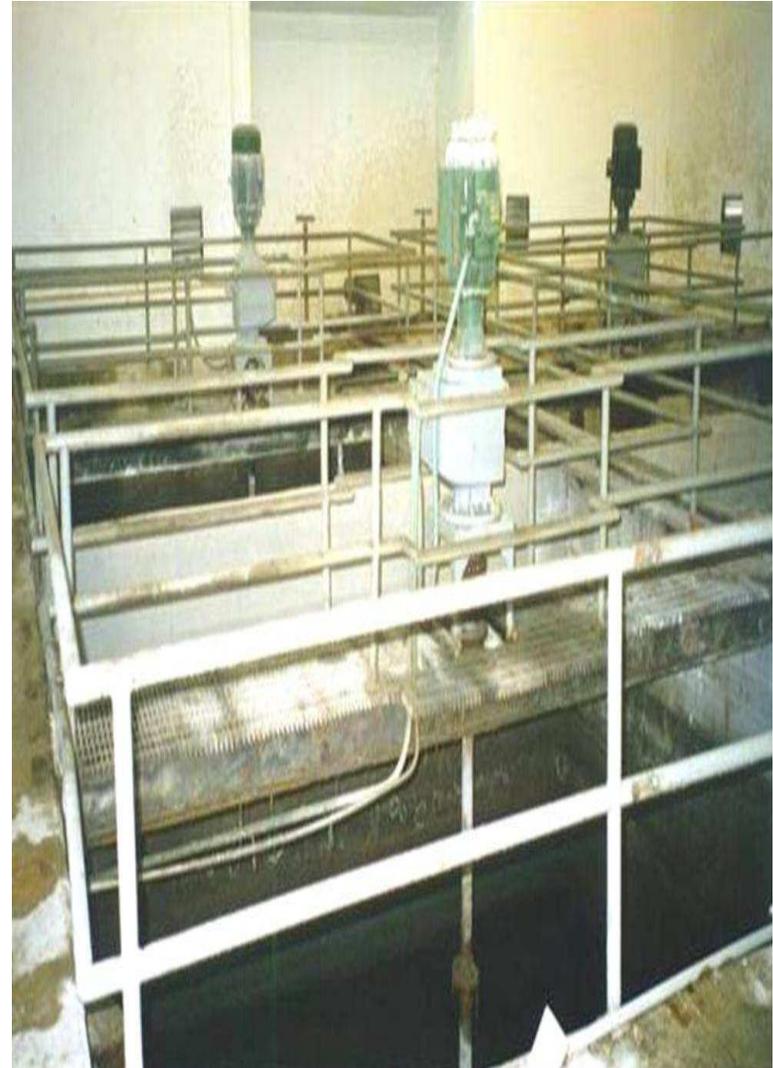


Grasas



CRITERIOS DE ESTABILIZACIÓN

- Agregar suficiente cal para elevar el pH a 12
- pH 12 por 2 horas.
- Alcalinidad residual, pH = 11.5 por 22 días.

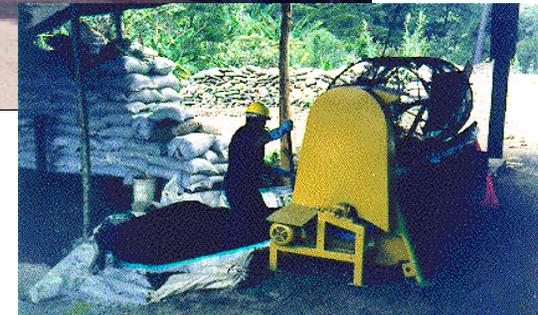


Microorganismos patógenos antes y después de la estabilización alcalina

MUESTRA	C. F. NMP/Kg SST	ASCARIS /Kg SST	TRICHURIS /Kg SST	HYMENOLEPIS /Kg SST	TOXOCARA /Kg SST
Lodo crudo (1.79% ST)	1.142 X 10 ⁶	1.09 X 10 ⁶	6.85 X 10 ⁴	1.83 X 10 ⁴	2.28 X 10 ³
7 g/L cal	1.2 X 10 ²	1.07 X 10 ⁵	2.33 X 10 ³	-	-
9 g/L cal	1.21 X 10 ²	1.86 X 10 ⁵	7.27 X 10 ³	-	-
11 g/L cal	7.84 X 10 ²	8.16 X 10 ⁴	1.56 X 10 ³	-	-
Lodo crudo (22.59% ST)	8.69 X 10 ⁶	9.12 X 10 ⁵	2.87 X 10 ⁴	2.78 X 10 ⁴	-
9 g/L cal	68	1.27 X 10 ⁵	-	-	-
10 g/L cal	55	8.54 X 10 ⁴	2.19 X 10 ³	-	-
12 g/L cal	58	8.23 X 10 ⁴	-	-	-
14 g/L cal	72.7	6.98 X 10 ⁴	-	1.45 X 10 ³	-
16 g/L cal	64	8.88 X 10 ⁴	1.27 X 10 ³	-	-
Lodo crudo (3.53% ST)	1.31 X 10 ⁶	5.84 X 10 ⁵	3.94 X 10 ³	4.32 X 10 ⁴	2.62 X 10 ³
7 g/L cal	63.5	4.32 X 10 ⁴	-	-	1.27 X 10 ³
10 g/L cal	58.8	8.0 X 10 ⁴	2.35 X 10 ³	-	-
12 g/L cal	47	1.12 X 10 ⁵	6.58 X 10 ³	-	9.92 X 10 ²
14 g/L cal	46.5	4.65 X 10 ⁴	9.30 X 10 ²	-	-
16 g/L cal	44	2.81 X 10 ⁴	-	-	-
18 g/L cal	43.5	1.82 X 10 ⁴	-	-	-
Lodo crudo (4.12% ST)	1.17 X 10 ⁷	5.11 X 10 ⁵	9.5 X 10 ³	2.6 X 10 ⁴	-
7 g/L cal	65.5	2.16 X 10 ⁵	1.31 X 10 ⁴	-	1.31 X 10 ³
9 g/L cal	43.8	1.46 X 10 ⁵	1.13 X 10 ⁴	-	-
10 g/L cal	43.5	5.56 X 10 ⁴	-	-	-
12 g/L cal	49.4	1.32 X 10 ⁵	2.96 X 10 ³	-	9.87 X 10 ²
14 g/L cal	49.4	7.3 X 10 ⁴	2.96 X 10 ³	-	-

COMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES

Degradación de materia orgánica por microorganismos bajo condiciones aeróbicas, humedad y de temperatura



VERMICOMPOSTEO

- Tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico.
- Proceso de descomposición natural, similar al composteo termofílico
- Además de la descomposición por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos y levaduras.) existentes en el medio natural, también lo es por el sistema digestivo de la lombriz.



- *Eisenia foetida*
- *Eisenia andrei*
- *Perionyx excavatus*
- *Eudrilus eugeniae*
- *Metaphire californica*

SECADO SOLAR DE LODOS

Factores que influyen en el proceso

- Temperatura del aire
- Humedad relativa del aire
- Velocidad del aire

Secado solar en invernadero



Secado solar con cubierta



Sensor de temperatura



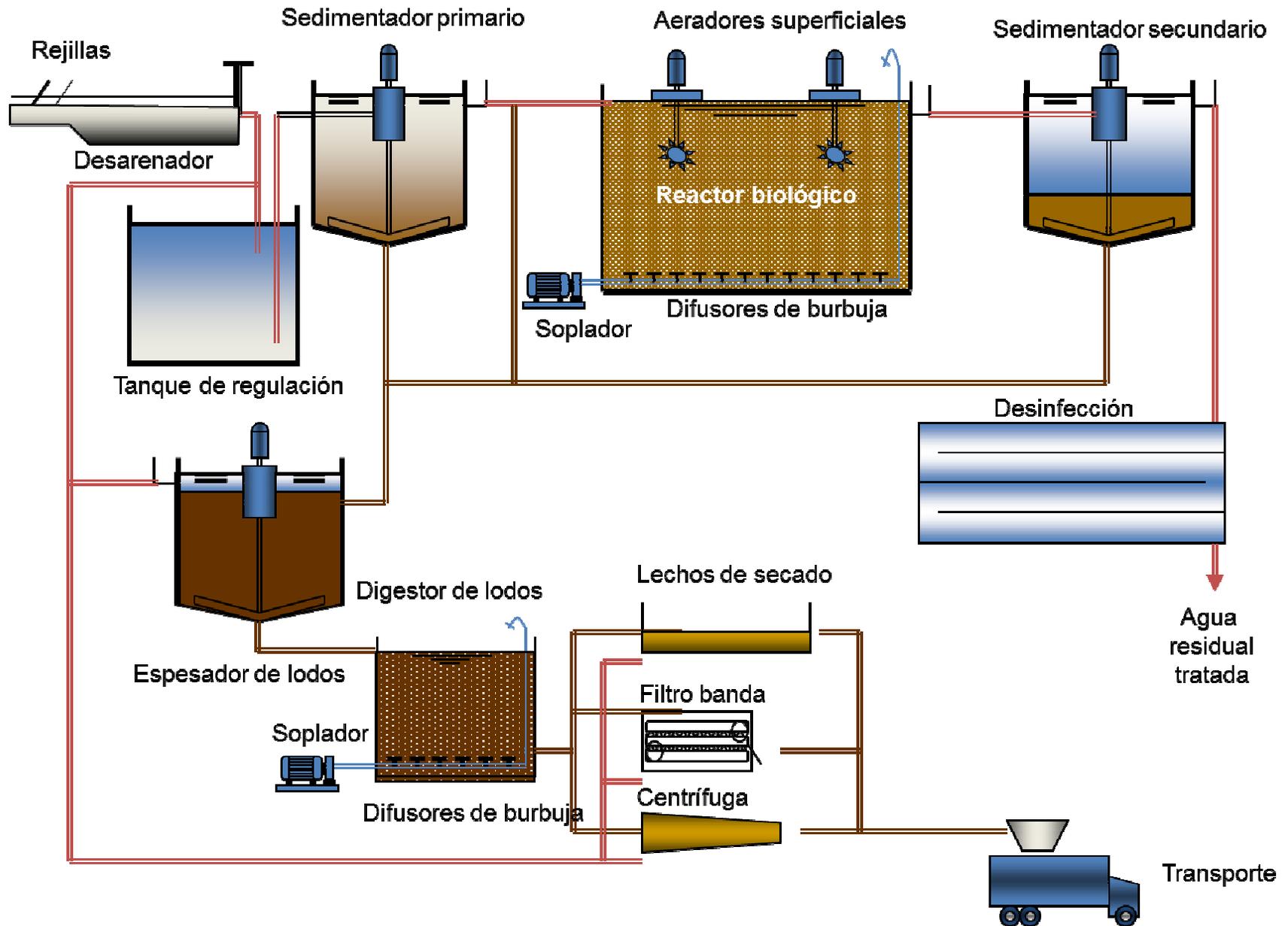
Sensor de radiación solar



Sensor de dirección y velocidad del viento

REINGENIERÍA DE PROCESO

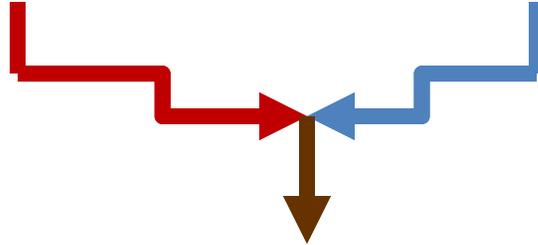
Proceso de Lodos Activados



LODOS ACTIVADOS

Convencional

Aeración Extendida



Producción de lodos

**Lodos primarios +
Lodos secundarios**

Lodos secundarios

**Aprovechamiento de lodos residuales
Disposición de lodos estabilizados**

BIOGÁS

AERACIÓN EXTENDIDA O PROLONGADA

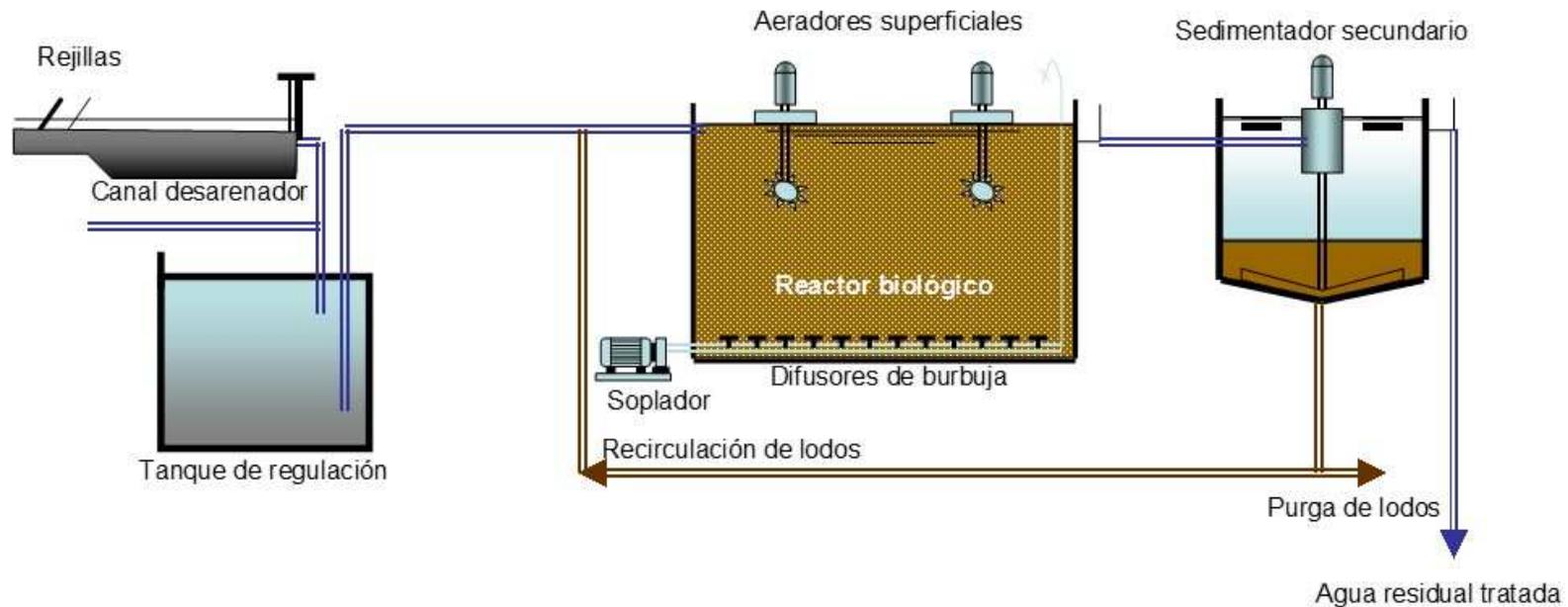
Modificación con amplia aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales.

Caracterizado por tener altos tiempos de retención que permiten cambios bruscos en la carga hidráulica y orgánica, así como también la degradación de compuestos más complejos o difícilmente degradables.

Produce menos lodo de desecho, ya que se permite la fase endógena, donde las bacterias son digeridas en el tanque de aeración.

Este proceso también permite la nitrificación del efluente.

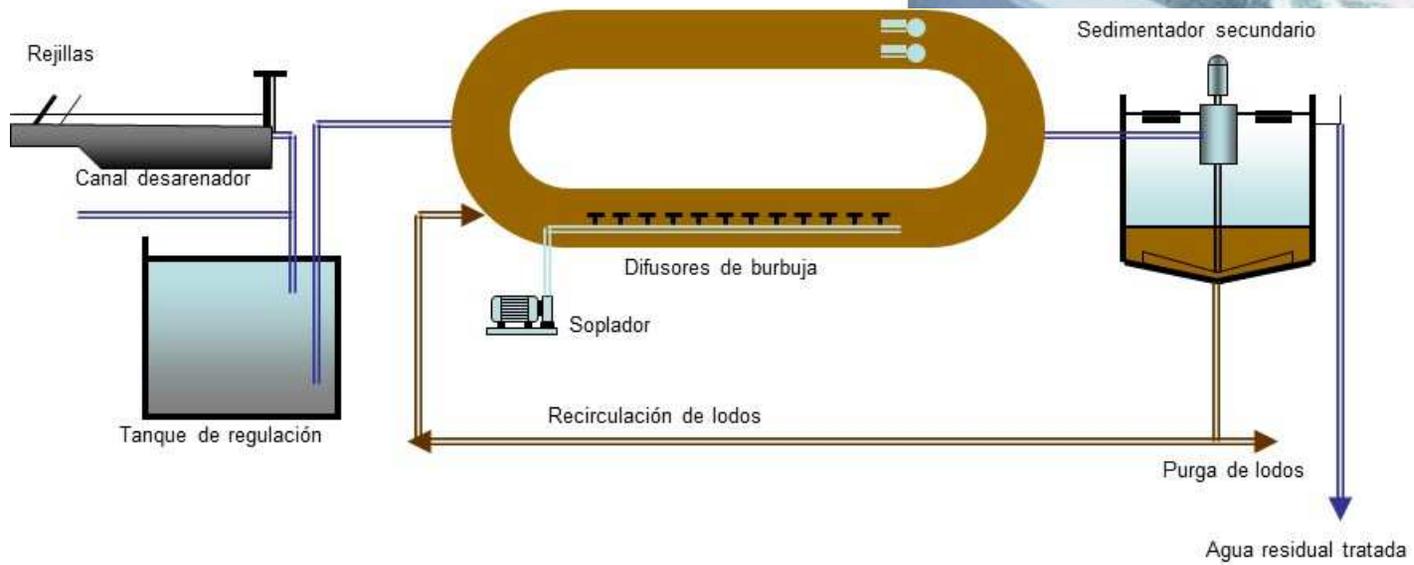
Aeración extendida



- Aumenta el TRH de 18 a 36 h. Permitiendo que el lodo sea parcialmente digerido dentro del tanque de aeración. Los microorganismos están en una fase endógena, con una A/M baja.
- **Teóricamente puede no generar lodo**, pero no es recomendable. Los microorganismos pueden hacerse viejos disminuyendo la eficiencia del proceso y repercutiendo en la calidad de agua de salida.
- Se recomienda realizar pequeñas purgas para favorecer la generación de microorganismos jóvenes y así mantener una población saludable.

Zanjas de oxidación

- Variante del proceso de lodos activados por aeración extendida.
- Suministra el oxígeno por medio de rotores o aeradores mecánicos que hacen circular el agua en un canal cerrado, o por difusores que se complementan con agitadores superficiales o sumergidos que le imprimen una velocidad horizontal al agua (licor mezclado) de **25 a 35 cm/s**.
- Al entrar el agua residual al sistema se logra una dilución de 20 a 30 veces.
- Presentan un arreglo de aeración que permite que la concentración de oxígeno disuelto disminuya a lo largo del canal, propiciando condiciones anóxicas y por tanto el proceso de desnitrificación.



Digestión anaerobia

- Estabilización de lodos → degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.
- La materia orgánica se convierte, principalmente, en **metano (CH₄)** y **dióxido de carbono (CO₂)**.
- El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado (15 – 60 d)
- Costo de operación menor
- Mayor costo de inversión
- Requiere de operadores especializados del proceso
- Gas producido: 65 - 70% de CH₄ y 25 - 30% de CO₂
En mucho menor cantidad N, H, H₂S y otros.
- Poder calórico gas de digestión ≈ 22 400 kJ/m³

Digestión anaerobia

- Estabilización de lodos → degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.
- La materia orgánica se convierte, principalmente, en **metano (CH₄)** y **dióxido de carbono (CO₂)**.
- El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado (15 – 60 d)
- Costo de operación menor
- Mayor costo de inversión
- Requiere de operadores especializados del proceso
- Gas producido: 65 - 70% de CH₄ y 25 - 30% de CO₂
En mucho menor cantidad N, H, H₂S y otros.
- Poder calórico gas de digestión ≈ 22 400 kJ/m³

Producción y características del biogás

La producción de biogás es función de la destrucción de SSV en el digestor.

Producción: 0.8 - 1.1 m³ de biogás/ kg SSV
(WEF, 1998)

Producción metano estimado a partir de DQO (35°C): 0.35 L CH₄/gDQO.

México, D.F. a 15 de octubre de 2015

AVISO

para el reporte del Registro Nacional de Emisiones

Por medio del presente, se informa que el factor de emisión para el cálculo de emisiones indirectas por consumo de electricidad para el periodo 2014, cuando el proveedor sea Comisión Federal de Electricidad, será:

0.454 toneladas de CO₂ / MWh

El cual deberá multiplicarse por el consumo eléctrico (en unidades de Mega Watts-hora) para obtener la emisión indirecta por consumo de electricidad del establecimiento sujeto a reporte.

Reducción de
emisiones por
aprovechamiento
o de LR

Generación de BIOGAS

PTAR CHIHUAHUA NORTE, digestión anaerobia - quemador

PTAR CHIHUAHUA SUR, digestión anaerobia - quemador

PTAR LA PAZ, BCS, digestión anaerobia - quemador

PTAR NORTE, MONTERREY, NL , digestión anaerobia - quemador

PTAR TANQUE TENORIO, SLP, digestión anaerobia – quemador

PTAR SEAPAL NORTE II, PTO. VALLARTA, digestión anaerobia – quemador

Generación de energía eléctrica

PTAR PURÍSIMA DEL RINCÓN, GTO, - Generación energía eléctrica y quemador

PTAR PRINCIPAL, SALTILLO, COAH - Generación de energía eléctrica

PTAR VILLA ÁLVAREZ, COL - Generación de energía eléctrica

PTAR LEON , GTO - Generación de energía eléctrica

PTAR SAN PEDRO MÁRTIR, QRO - Generación de energía eléctrica

PTAR EL AHOGADO, JAL - Generación de energía eléctrica

PTAR AGUA PRIETA, JAL - Generación de energía eléctrica

Equipadas para cogeneración, aún fuera de servicio

PTAR HERMOSILLO, SON

PTAR ATOTONILCO, HGO

Problemática generalizada

- **Recolección insuficiente del AR**
- **PTAR's subutilizadas ($Q_{\text{diseño}} > Q_{\text{op}}$)**
- **Plantas sobrecargadas**
- **No hay manuales de operación**
- **No se cuenta con equipo para control de proceso**
- **Capacitación deficiente de operadores**
- **Módulos viejos, instalaciones y equipos en mal estado**
- **No hay recursos para O&M**
- **No hay mantenimiento preventivo**
- **Rotación de personal**

Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) Conagua 2015

- ★ Integración de un organismo operador [Leer >>](#)
- ★ Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos [Leer >>](#)
- ★ Establecimiento de medidas preventivas, de seguridad y diseño de obras ... [Leer >>](#)
- ★ Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado... [Leer >>](#)
- ★ Estudios Técnicos Para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y ... [Leer >>](#)
- ★ Obras de Captación Superficiales [Leer >>](#)
- ★ Captación en Pozos profundos [Leer >>](#)
- ★ Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo [Leer >>](#)
- ★ Conducciones [Leer >>](#)
- ★ Fenómenos Transitorios en Líneas de Conducción [Leer >>](#)
- ★ Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable [Leer >>](#)
- ★ Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución [Leer >>](#)
- ★ Proyectos Ejecutivos [Leer >>](#)
- ★ Cálculo, Estudio y Diseño de Instalaciones Mecánicas [Leer >>](#)
- ★ Selección de Equipo y Materiales Electromecánicos [Leer >>](#)
- ★ Instalación y Montaje de Equipo Electromecánico [Leer >>](#)
- ★ Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario [Leer >>](#)
- ★ Aplicación de Fuentes de Energía Renovable en Plantas de... [Leer >>](#)
- ★ Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento [Leer >>](#)
- ★ Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada [Leer >>](#)
- ★ Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales [Leer >>](#)
- ★ Diseño de PTARs Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario [Leer >>](#)

<http://aneas.com.mx/manual-de-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento-mapas-conagua-2015/>



GRACIAS

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Subcoordinación de Tratamiento
de Aguas Residuales**

**Gabriela Mantilla Morales
mantilla@tlaloc.imta.mx
777.329.36.22**