

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FORMOSA



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

Lagunas de Estabilización

Ingeniería Sanitaria

Mg. Ing. Guillermo José Mendez

Noviembre de 2019

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas de estabilización están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, generalmente tienen forma cuadrada o rectangular.

Estas lagunas tienen como objetivo:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Remoción de DBO.
- Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura.

La selección de lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales obedece a las siguientes ventajas

- Bajo costo de instalación
- Proceso biológico confiable por su baja sensibilidad a cambios de características y caudal del afluente.
- Requieren destreza mínima de operación y bajo costo de mantenimiento.

2. CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS

2.1. Según la configuración del sistema

- En Serie:

Las lagunas de tratamiento suelen disponer concatenadamente una seguida de la otra en virtud de cumplir distintas funciones de tratamiento y aumentar la eficiencia en la remoción de materia orgánica y organismos patógenos (Figura 1.a).

- En Paralelo

En virtud de que el tratamiento acompañe el aumento de los usuarios y las dotaciones de suelo de estos. Se pueden disponer varias líneas de tratamiento en paralelo. Considerando que los caudales que pasan por cada línea de tratamiento dependerá del número de estas líneas dispuestas en paralelo, se puede ejecutar (como una primera etapa) una sola (o dos líneas) y dejar la/s restante/s líneas en una segunda etapa (e.g. a 10 años de puesta en marcha la obra) cuando se hayan conectado a la red la cantidad de usuarios que justifiquen aumentar la capacidad del sistema de tratamiento (Figura 1.B)

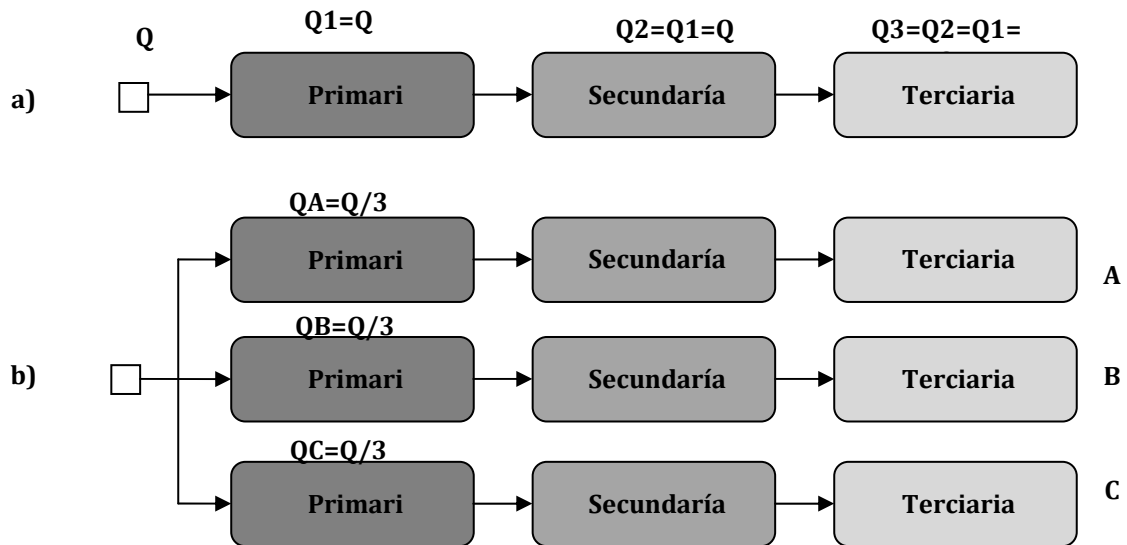


Figura 1. Disposición de las lagunas de estabilización - a) en Serie y b) en Paralelo

2.2. Según su ubicación en la Serie

Según su ubicación en la serie se clasifican en:

- Primarias:

A diferencia de plantas de tratamiento convencionales esta definición asigna únicamente la ubicación en la serie y no indica un tratamiento en particular. Las lagunas primarias y secundarias realizan procesos físicos (sedimentación de los sólidos suspendidos) y biológicos (que se definen en el apartado siguiente). Sin embargo, en las lagunas primarias reciben una mayor cantidad de carga orgánica y de sólidos suspendidos.

- Secundarias:

Realizan procesos físicos y biológicos y continúan el tratamiento a partir de las características del efluente erogado de la laguna primaria.

- Terciaria:

Realizan un proceso de desinfección propiciando condiciones del líquido que favorecen la mortandad de los organismos patógenos.

2.3. Según el proceso que realizan:

Según su ubicación en la serie se clasifican en:

- Facultativa
- Aerobias
- Anaerobias
- De Maduración

Estas lagunas se describen detalladamente a continuación.

3. LAGUNAS AEROBIAS

También son denominadas por algunos autores como Lagunas de Oxigenación. La estabilización de la materia orgánica se realiza en condiciones completamente aerobias.

En general existen dos tipos de lagunas de estabilización aerobias. El primer tipo es el de las lagunas cuyo objetivo es maximizar la producción de algas, en las cuales la profundidad está en el intervalo de 15 a 45 cm. El segundo tipo es el de las lagunas cuyo objetivo principal es maximizar la producción de oxígeno y se usan profundidades máximas de 1.5m.

En las lagunas aerobias fotosintéticas, el oxígeno se suministra por aireación natural a través de la superficie y por fotosíntesis de las algas. El oxígeno liberado por las algas en el proceso de fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono liberados en este proceso de degradación los emplean, a su vez, las algas. Esta relación ciclo-simbiótica se ilustra en la Figura 2.

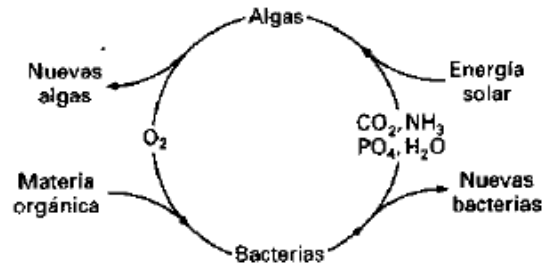


Figura 2. Proceso biológico realizado en una laguna de aireación

4. LAGUNAS ANAEROBIAS

Las lagunas anaerobias son lagunas con cargas orgánicas tan altas que no poseen zona aerobia, excepto, posiblemente, en su superficie. Son usadas como lagunas primarias para aguas residuales domésticas y municipales así como para tratamiento de aguas residuales industriales con DBO mayor de 1000 mg/L.

La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en $CO_2 + CH_4$ + otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejido celular. Como consecuencia de que pueden generar malos olores se recomienda que estas lagunas estén a una distancia mayor a 1.000 m de cualquier asentamiento urbano.

Las guías del COFAPyS (Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento)¹ La recomiendan que la profundidad de este tipo de lagunas sea mayor a 3 metros.

5. LAGUNAS FACULTATIVAS

Por su versatilidad son más usadas que las lagunas anteriormente citadas.

Como se puede apreciar en la Figura 3, en una laguna facultativa existen tres zonas: (i) una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente; (ii) una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias, y (iii) una zona

¹ Actualmente el COFAPyS se llama ENOHSA.

intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

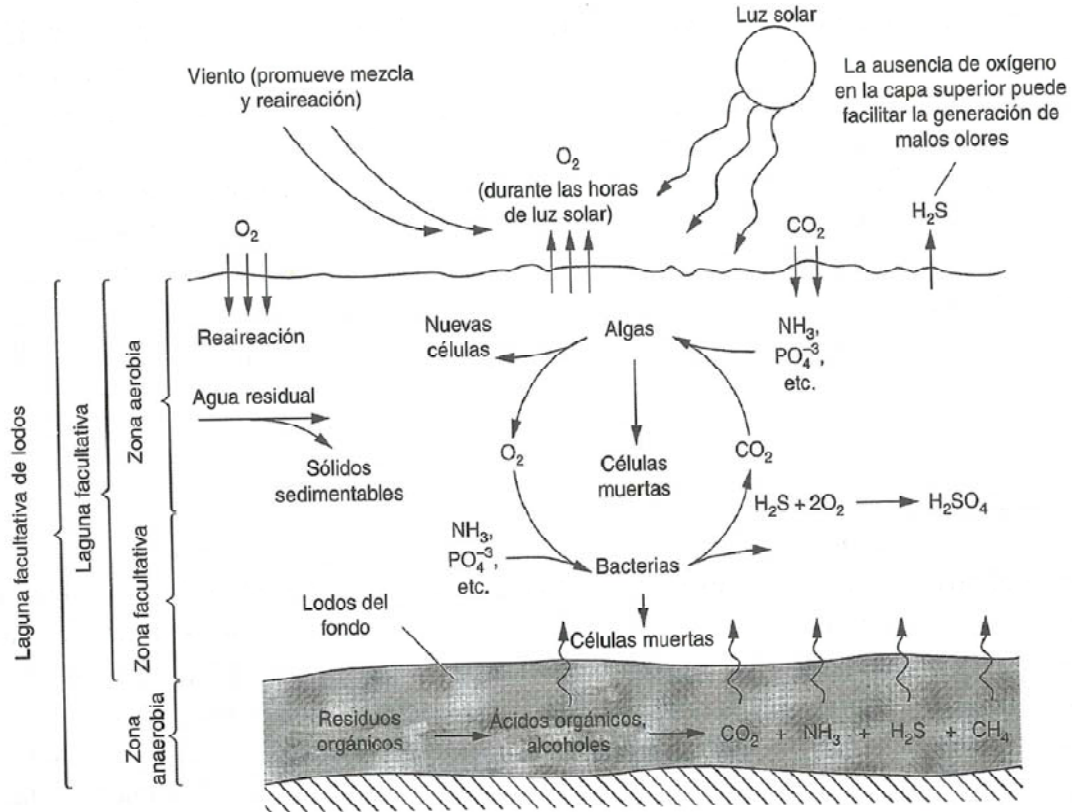


Figura 3. Proceso biológico realizado en una laguna facultativa

Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas.

La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango comporta la

producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO_2 el H_2S y el CH_4 , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

Debido a que las algas usan dióxido de carbono en su actividad fotosintética, ello puede dar lugar a condiciones de pH altos.

Las guías del COFAPyS recomiendan profundidades de entre 1,5 a 2,20 m y permanencia hidráulica de entre 15 a 45 días.

6. LAGUNAS DE MADURACIÓN

El principal objetivo de las lagunas de maduración es la remoción de los organismos patógenos.

El ambiente ideal para los organismos patógenos es el tracto intestinal humano. Fuera de este, donde las condiciones no son aptas para su desarrollo tienden a morir. Las lagunas de maduración son diseñadas y dimensionadas de forma de exacerbar los factores que contribuyen a la mortandad de los patógenos, tales como:

- Radiación solar: se aumenta la exposición del volumen de agua a los rayos UV.
- Elevado pH: que se traduce en un medio más desfavorable para la supervivencia de los microorganismos patógenos
- Elevado OD (oxígeno disuelto): favoreciendo una comunidad aerobia más eficiente en la competencia por alimentos y en la alimentación de organismos patógenos.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempos de retención de 3 a 10 días cada una, con un mínimo de 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 0,6 a 1,5 metros.

Es conveniente remarcar dos aspectos de la desinfección:

i) Los microorganismos patógenos son muy difíciles de detectar e imposibles de cuantificar en grandes volúmenes de agua, por lo que se recurre al uso de indicadores como son los coliformes fecales que se miden en concentraciones de NMP/100 ml (número más probable en 100 ml).

ii) El proceso de desinfección se desarrolla en las lagunas primarias y secundarias también por tanto las concentraciones de coliformes fecales irá reduciendo desde el ingreso a la primaria hasta la salida en la terciaria.

7. DIMENSIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS

Para el dimensionamiento de sistemas de lagunas se puede recurrir a métodos empíricos y basados en modelos matemáticos. Los primeros están basados en la experiencia de operación de distintos sistemas lagunares y se pueden citar los siguientes:

- Carga superficial
- Carga volumétrica
- Remoción esperada

En tanto que los modelos matemáticos están basados en hipótesis de flujos hidráulico (mezcla completa, flujo pistón o flujo disperso) y modelos de degradación del contaminante. Se pueden citar los siguientes:

- Modelo de reactores
- Eficiencia fotosintética
- Dinámica del proceso

En nuestro país es una práctica profesional usual, como metodología para el dimensionamiento de las lagunas de estabilización, realizar los siguientes pasos:

- Predimensionamiento de cada laguna: mediante un método empírico calculando la superficie de las lagunas y adoptando un tirante y relaciones de ancho y largo.
- Verificación del funcionamiento del sistema: mediante un modelo matemático con el fin determinar eficiencias de remoción de DBO y coliformes fecales y estimar concentraciones de salida del efluente para cotejar si son admisibles por el cuerpo receptor.

7.1. Método de Carga Superficial

En este método la superficie de la laguna es obtenida de la relación entre la carga orgánica (que representaría la demanda biológica de oxígeno del efluente) y la carga superficial (que representaría la cantidad de oxígeno por unidad de superficie que puede ofertar la laguna al efluente).

Así la Carga orgánica total (L_a) se obtiene del producto entre la concentración de DBO_5 afluente a la laguna (S_a) y el caudal de diseño de la laguna (obtenido de la relación entre el

caudal medio diario y el numero de líneas de lagunas), tal como puede observarse en la Ecuación 1.

$$La \left(\frac{kg \text{ DBO}_5}{\text{día}} \right) = S \left(\frac{mg \text{ DBO}_5}{l} \right) \cdot \frac{1 \text{ mg/l}}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot Q \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) \quad (1)$$

La carga superficial va a depender de factores como la temperatura, la radiación solar y la cantidad de horas al año con luz solar, es decir, de la latitud donde estará ubicada la laguna. Algunos autores han sugeridos distintas expresiones en virtud de obtener de forma expeditiva el valor de la carga superficial (Cs), tal como se detalla a continuación.

Carga Límite deducida por F. Yañez en el CEPIS² (Ecuación 2).

$$C_{Smax}(kg \text{ DBO}_5/ha.día) = 357.4 \times 1.085^{(T-20)} \quad (2)$$

Carga Límite deducida por Mara para climas cálidos a templados (Ecuación 3)

$$C_{Smax}(kg \text{ DBO}_5/ha.día) = 20.Tai - 60 \quad (3)$$

Carga Límite deducida por Mara (1996), en la Ecuación 4

$$C_{Smax}(kg \text{ DBO}_5/ha.día) = 350 \cdot (1.107 - 0.002.T)^{(T-25)} \quad (4)$$

Una vez determinada la carga orgánica superficial máxima es posible obtener el área superficial requerida para la laguna, mediante la Ecuación 5.

$$As_1 = \frac{La}{C_{Smax1}} \quad (5)$$

Para la determinación de las dimensiones de la laguna primaria se adoptan los siguientes parámetros de diseño:

H = Tirante Liquido

X = Relación Ancho Superior/Base Sup. ³

I = inclinación del Talud ⁴

El ancho superior de la laguna puede calcularse mediante la Ecuación 6.

² El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) es la Unidad de Saneamiento Básico del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

³ Más frecuentemente, la relación largo/ancho de las lagunas facultativas se sitúa en torno de 2 a 4 (EPA, 1983 Abdel Razik, 1991). En estas condiciones el régimen encontrado en la realidad es el de flujo disperso. Marcos Von Sperling – Principios do Tratamiento Biológico de Águas Residuárias – Vol 3 Lagoas de Estabilizacão – Pag 35.

⁴ "Inclinación mínima: 1:6 (evitar áreas con poca profundidad, posibilitando crecimiento de vegetales). Inclinación máxima: 1:2(función de la estabilidad del terreno)" Von Sperling – Principios do Tratamiento Biológico de Águas Residuárias – Vol 3 Lagoas de Estabilizacão – Pag 112.

$$BS_1 = \sqrt{\frac{As_1}{X}} \quad (6)$$

El largo superior se obtiene de la Ecuación 7.

$$Ls = X.Bs \quad (7)$$

Las dimensiones (Bf y Lf) y el área del fondo (Af) de la laguna se obtienen mediante las Ecuaciones 8, 9 y 10.

$$Bf = Bs - 2.H/i \quad (8)$$

$$Lf = Ls - 2.H/i \quad (9)$$

$$Af = Lf.Bf = \quad (10)$$

El volumen resultante de la laguna se obtiene a partir de la Ecuación 11.

$$V = [As + Af + (As.Af)^{0.5}] \cdot \frac{H}{3} \quad (11)$$

Una vez determinado el volumen de la laguna puede calcularse el tiempo de permanencia hidráulico de acuerdo a la Ecuación 12.

$$Tp = \frac{V}{Q_1} \quad (12)$$

8. BIBLIOGRAFÍA

Co.F.A.P.y S. 1993. Normas de estudio y criterios de diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30.000 personas.

Romero Rojas, J.A. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Tercera edición - Alfaomega. 281 pp.

Tchobanoglous, G. y Burton, F.L. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGraw-Hill. 1485 pp.

Von Sperling, M. 1996. Principios do Tratamiento Biológico de Águas Residuárias – Vol 3 Lagoas de Estabilização. DESA- UFMG. Cuarta Edición. 140 pp.

Desde la cátedra de Ingeniería Sanitaria hacemos un reconocimiento especial a *Domingo Jeremías Pessolano* quien siendo alumno de la cohorte 2018 confeccionó el documento "Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización" posibilitando el desarrollo de este apunte.