

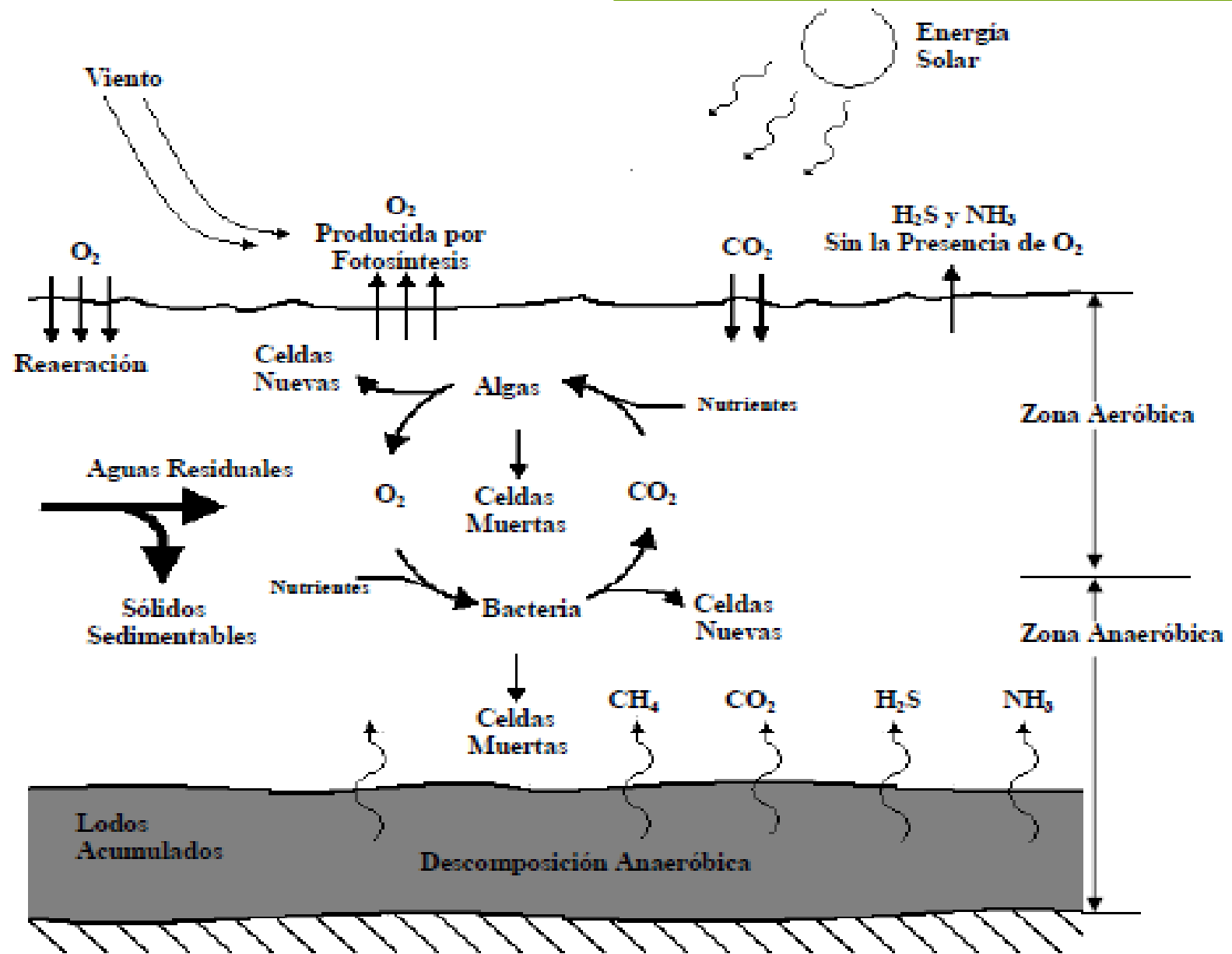
RALCEA: Eje Calidad de Agua y Saneamiento
Curso "Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales para Reuso
Módulo 1: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Reuso

Lagunas de estabilización

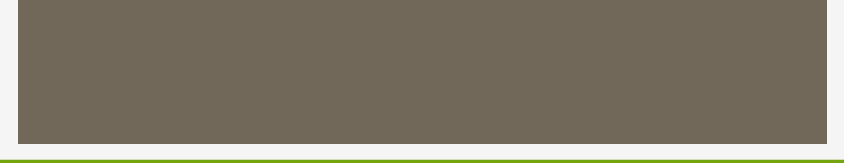
Alvaro Mercado
Centro de Aguas y
Saneamiento Ambiental UMSS

Santa Cruz Agosto 2013

- Las lagunas de estabilización son lagunas construidas diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas) como se muestra en la Figura 1.
- La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural.
- Normalmente se diseña el proceso para la remoción de patógenos, DBO ,y sólidos suspendidos.
- En este curso el término lagunas de estabilización incluye lagunas anaeróbicas, facultativas, y lagunas de maduración.



- Las lagunas facultativas se caracterizan por tener una zona aeróbica en el estrato superior, donde existe la simbiosis entre algas y bacterias, y una zona anaeróbica en el fondo inferior(Ver la figura 1).
- Existen dos mecanismos de adición de oxígeno al estrato superior:
 - La fotosíntesis llevada a cabo por las algas, y
 - La reaeración a través de la acción del viento de la superficie



Las bacterias aeróbicas realizan un tratamiento de los desechos, particularmente la materia orgánica disuelta, mediante asimilación y oxidación de la materia orgánica con la producción de bióxido de carbono y productos secundarios de nutrientes como amoníaco y nitrato.

Las algas utilizan el bióxido de carbono y los nutrientes para producir oxígeno a través de la fotosíntesis.

En los niveles más profundos existen condiciones anaeróbicas donde la descomposición ocurre.

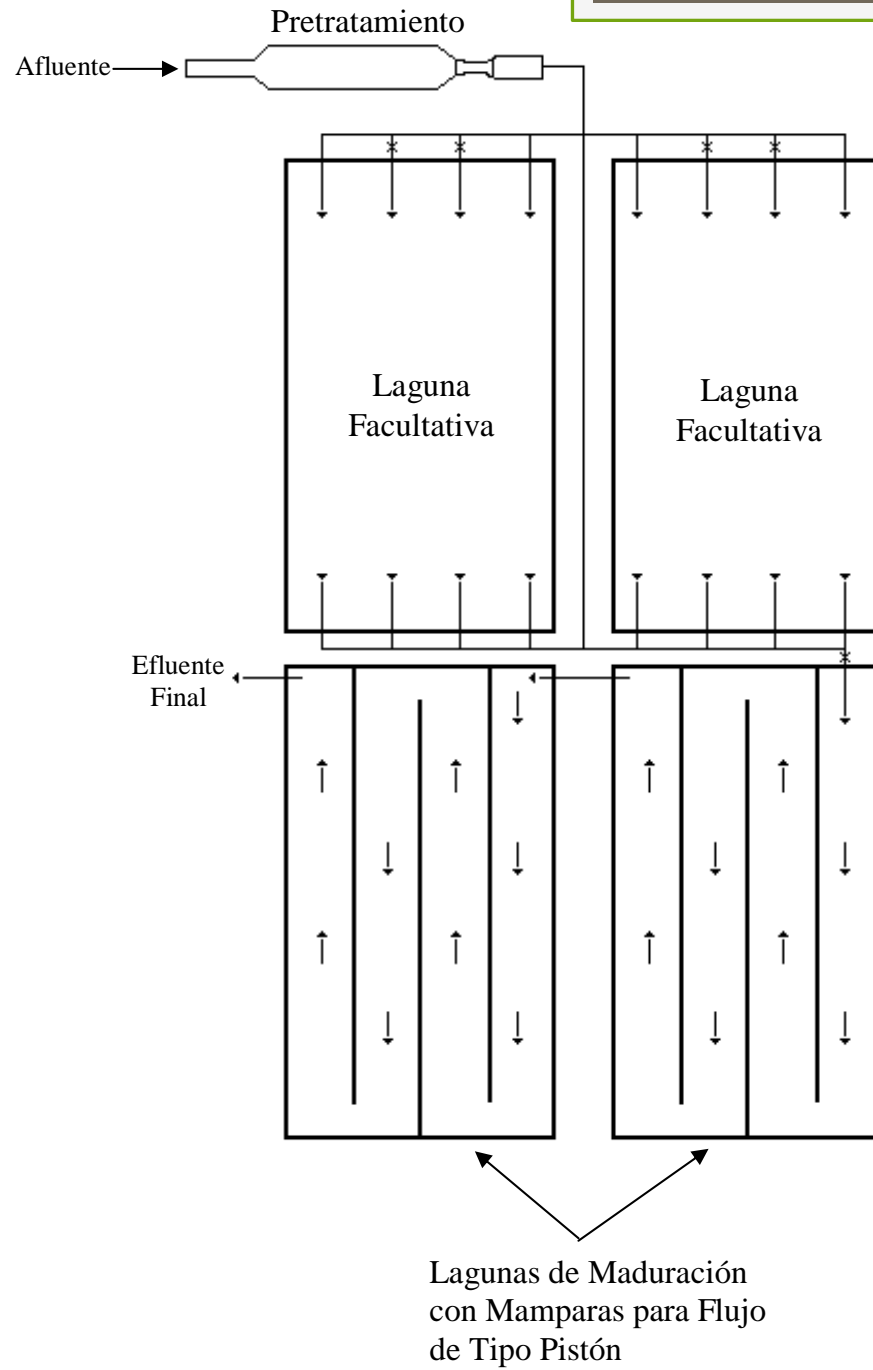
Las lagunas de maduración se caracterizan como lagunas aeróbicas, donde se mantiene un ambiente aeróbico en todo su estrato.

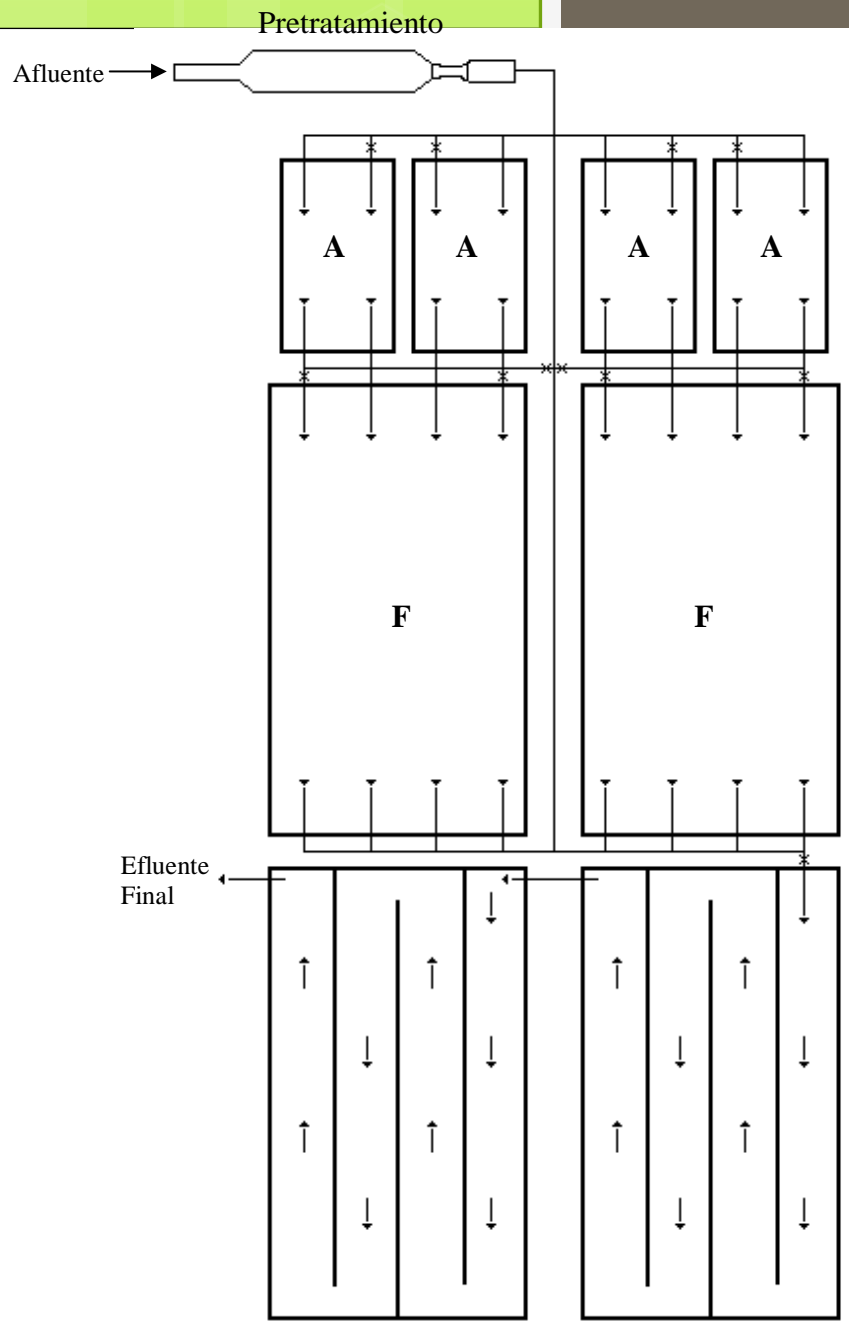
El propósito principal de las lagunas de maduración es proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO.

Se diseña un sistema de lagunas para tener baterías de lagunas primarias (facultativas o anaeróbicas) en paralelo seguidas por dos o tres lagunas de maduración en serie.

Se debe diseñar las lagunas primarias en paralelo para poder remover de una lodos mientras las demás quedan operando.

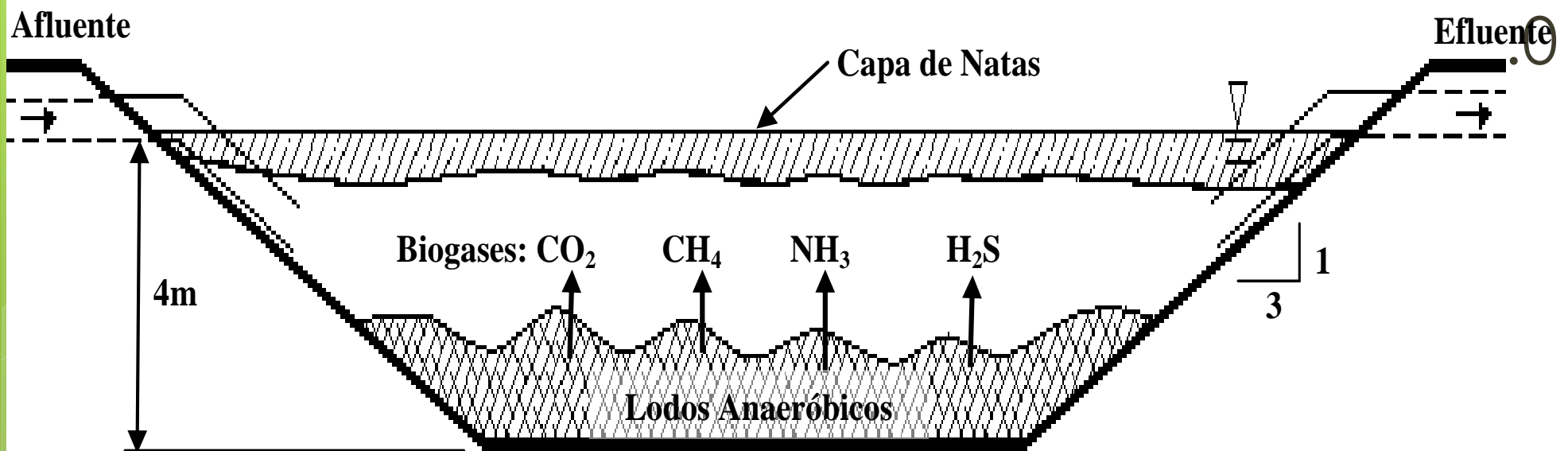
Se diseñan lagunas anaeróbicas y facultativas para remover DBO y SS y controlar el proceso de tratamiento; después, se diseñan lagunas de maduración para remover patógenos aprovechando su remoción anterior en las lagunas anaeróbicas o facultativas.





Lagunas de Maduración
con Mamparas para Flujo
de Tipo Pistón

Las **Lagunas Anaeróbicas** son estanques de profundidad de 3.0 a 5.0 metros con un



Un diagrama de una laguna anaeróbica. Los requisitos de operación y mantenimiento de las lagunas anaeróbicas no son recomendables, especialmente para las municipalidades.

Reacciones para procesos anaerobios

Remoción de DBO



*Desechos Orgánicos
en Aguas Residuales
Bacterianas*

Células

| | | | |
|---|--|--|------------------------|
| 0.02(201) 4.0 mg (8.0 mg DBO _L equivalente) | 0.12(16) 1.92mg CH ₄ (7.68mg DBO _L equivalente) | 0.018(61) 1.10 mg 0.9 mg CaCO ₃ | 0.0026(113) 0.29 mg |
| 1.0 mg DBO _L equivalente | 0.24 mg CH ₄ (0.96 DBO _L equivalente) | 0.11mg CaCO ₃ | 0.04 mg |
| 1.0 g DBO _L equivalente | 0.24 g CH ₄ | 0.11 g CaCO ₃ | 0.04 g |
| 150 mg/L DBO _L equivalente | 36 mg CH ₄ | 16.5 mg/L CaCO ₃ | 0.04 g |

El diseño de una laguna anaeróbica es basado en la carga volumétrica usando la siguiente ecuación (Arthur, 1983; Mara *et al.*, 1992):

$$V_A = \frac{DBO_o \cdot Q_{med}}{CV_A}$$

donde

- V_A = el volumen de laguna anaeróbica, m³
- DBO_o = la concentración inicial de DBO en el afluente, mg/L
- Q_{med} = el caudal promedio, m³/día
- CV_A = la carga volumétrica de DBO, g/m³-día

La literatura técnica muestra que el valor de CV_A debe estar entre 100 a 400 g DBO/m³-día. Se debe mantener la carga arriba de 100 g DBO/m³-día para tener condiciones anaeróbicas, y menos que 400 g DBO/m³-día para evitar malos olores causados por la conversión de sulfatos a sulfuro de hidrógeno (Mara, *et al.*, 1992; Yáñez, 1992); también se puede tener malos olores causados por la emisión de amoníaco. Típicamente se utiliza una carga máxima de 300 g DBO/m³-día para tener un factor de seguridad. El volumen de la laguna es determinado de la ecuación anterior ; se recomienda que la profundidad debe estar entre 3.0 y 5.0 m—la más común es de 4 m. El tiempo de retención hidráulica nominal, TRH, se determina de la siguiente relación:

$$TRH = \frac{V_A}{Q_{med}}$$

donde TRH = el tiempo de retención hidráulica nominal, días

Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica, e Eficiencia en Lagunas Anaeróbicas

| Temperatura, °C | TRH, días | Remoción de DBO, % |
|------------------------|------------------|---------------------------|
| 10—15 | 4—5 | 30—40 |
| 15—20 | 2—3 | 40—50 |
| 20—25 | 1—2 | 50—60 |
| 25—30 | 1—2 | 60—80 |

Fuente: Yánez (1992).

La remoción de sólidos suspendidos en el proceso de tratamiento anaeróbico es del orden de 70 por ciento (MOPT, 1991). Estos sólidos se acumulan en el fondo de las lagunas, donde son digeridos bajo condiciones anaeróbicas, hasta que disminuyen el volumen de la laguna y afectan el proceso anaeróbico; los gases de descomposición forman burbujas que causan que una fracción de los lodos suba, formando la nata de la superficie.

La acumulación estimada de lodos en el proyecto de monitoreo varía entre 0.224 a 0.548 m³ de lodos por 1,000 m³ de aguas residuales tratadas.

Considerando en el diseño un tiempo de retención hidráulica de 1 a 3 días, el lodo de una laguna anaeróbica tiene que ser retirado con una frecuencia entre 2 a 5 años, dependiendo sobre el volumen de la laguna ocupado con lodos acumulados que se permita en el diseño.

Se puede estimar la frecuencia de limpieza usando la siguiente relación:

$$n = \frac{1,000 \cdot FVL \cdot V_A}{TAL \cdot Q_{med} \cdot 365}$$

donde n = número de años de operación para la limpieza

FVL = fracción del volumen de laguna ocupada con lodos (se utiliza 0.25—0.5)

V_A = volumen de la laguna anaeróbica

TAL = tasa de acumulación de lodos, $m^3/1,000 m^3$ (se utiliza 0.6 con factor de seguridad)

Q_{med} = caudal promedio, $m^3/día$

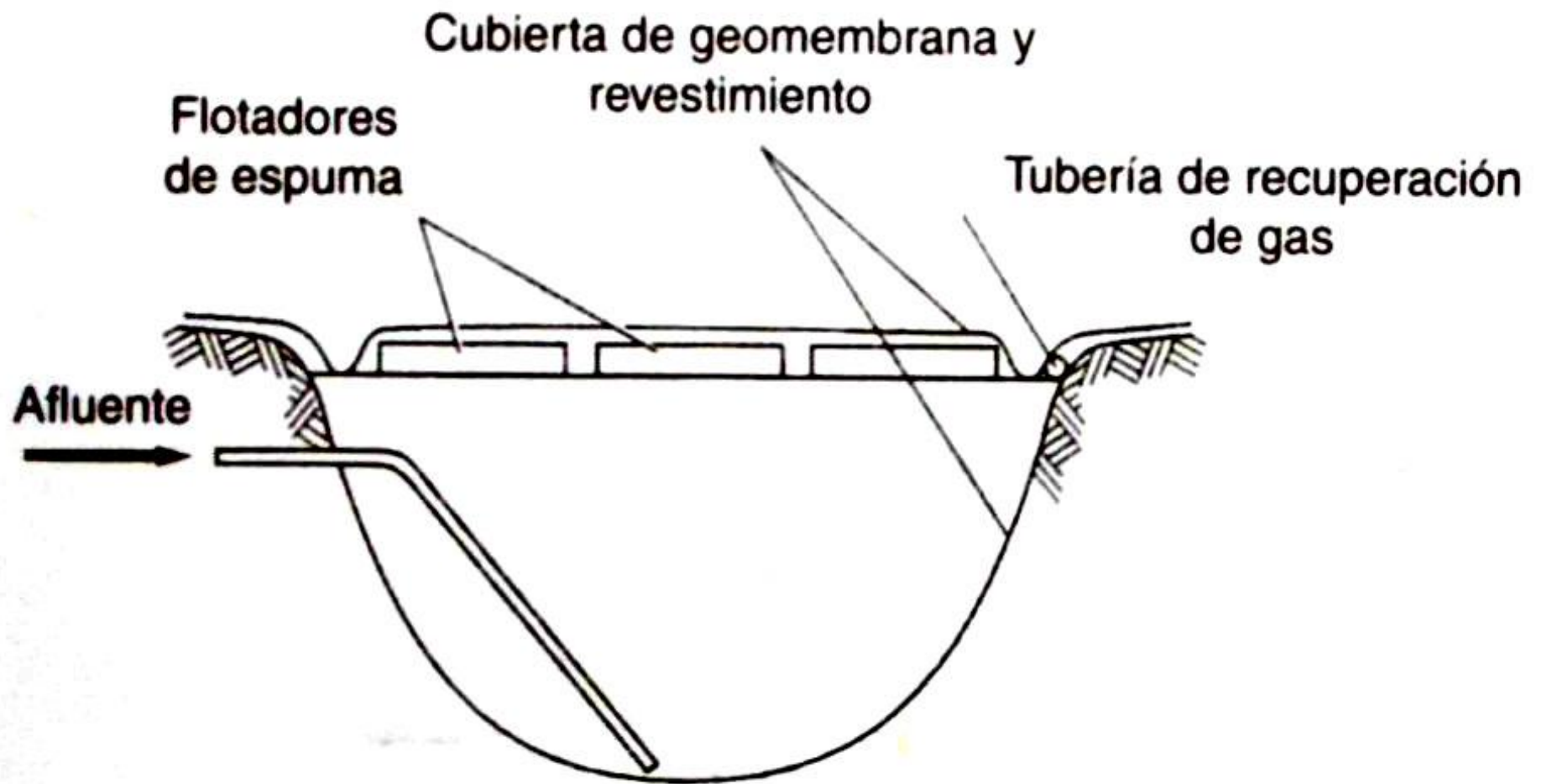
Cuadro : Ventajas y Desventajas del Uso de Lagunas Anaeróbicas

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| <p>Minimizar el área total del sistema de lagunas</p> <p>Reducir la carga orgánica si la carga es más alta que la carga normal de aguas residuales domésticos</p> <p>Reducir las concentraciones de compuestos tóxicos por descomposición anaeróbicas</p> | <p>Requerir personal más calificado</p> <p>El riesgo de malos olores de amoniaco y sulfuro de hidrógeno</p> <p>Requerir limpieza de lodos cada 2 a 5 años</p> <p>Requerir más difícil y costoso manejo de lodos, incluyendo el uso de lechos de secado, porque los lodos tienen que ser sacados mojados de la laguna.</p> |





Si se quiere recuperar el gas



Lagunas Facultativas

El propósito de las lagunas facultativas es remover la DBO bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y bacterias.

La laguna también contribuye a la remoción de patógenos a través del largo período de retención hidráulica típico en el diseño, que permite la sedimentación de huevos de helmintos, y la mortalidad de bacterias causada por el tiempo de retención hidráulica, por los rayos ultravioletas de la energía solar, y el aumento en pH por actividades de las algas.

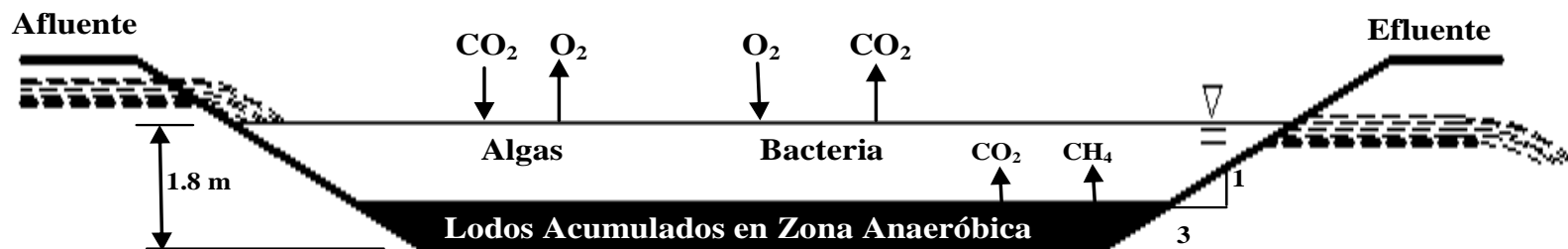
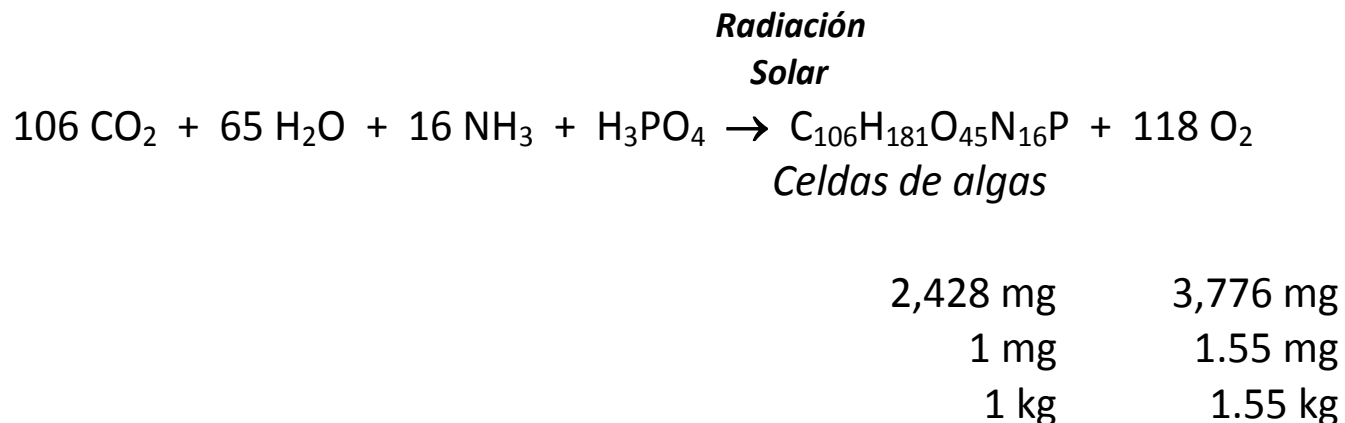


Figura 4-5: Un diagrama de una laguna facultativa con la zonas aeróbica, donde las algas consumen CO_2 y producen O_2 y la bacteria consume O_2 y produce CO_2 , y la zona anaeróbica donde los lodos acumulan y digieren, produciendo los gases de CO_2 y CH_4 .

- Se diseña una laguna facultativa calculando
 - i) la carga orgánica máxima superficial;
 - ii) el área requerida con un factor de seguridad; y
 - iii) el tiempo de retención hidráulica

La carga orgánica superficial por el método de la radiación solar

- El método más apropiado para el diseño de lagunas facultativas es el de la carga orgánica superficial, lo que depende de la cantidad de oxígeno producido por las algas en la laguna por la siguiente ecuación balanceada de fotosíntesis (Rittmann y McCarty, 2001):



La Ecuación muestra que 1 kilogramo de algas produce 1.55 kilogramos de oxígeno.

- La energía del sol requerida para producir un kilogramo de celdas de algas es de 24,000 kilo Joules (kJ) (Rittmann y McCarty, 2001).
- De la energía solar que radia la superficie de una laguna facultativa, solamente un porcentaje es utilizado por las algas como resultado de su eficiencia de conversión.
- La eficiencia de conversión varía entre las especies de algas y el rango ha sido reportado de 2 a 7% (Arceivala, *et al.*, 1970).

Se puede combinar la ecuación de fotosíntesis con la conversión de energía a células de algas y la eficiencia de conversión de energía solar por las algas para dar la siguiente ecuación de carga superficial máxima:

$$CS_m = \frac{(\text{Radiación Solar, kJ/ha - día}) \cdot (\text{Eficiencia de Conversión}) \cdot (1.55 \text{ kg O}_2 / \text{kg algas})}{24,000 \text{ kJ/kg algas producidas}}$$

donde CS_m = carga máxima superficial orgánica, kg O₂/ha-día

Utilizando una eficiencia de 3% de la conversión de energía solar por las algas, lo que da un factor de seguridad (Rittmann y McCarty, 2001), la Ecuación se reduce a la siguiente:

$$CS_m = (1.937E - 06) \cdot (RS) \quad 4-4)$$

donde RS = la radiación solar mínima diaria del año expresada como el promedio del mes, kJ/ha-día

La Administración de Aeronáutica y Espacio (NASA) de los EE.UU. tiene un sitio del web llamado Surface Meteorology and Solar Energy (Meteorología Superficial y Energía Solar), donde se puede obtener datos del promedio de 10 años de insolación solar en una superficie horizontal para cualquiera parte del mundo:

(<<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=0>>)

Los datos están expresados por mes en unidades de kW-hrs./m²-día, e incluyen la disminución de insolación por las nubes existentes cada mes del año. Para obtener datos de un lugar, se pone las coordenadas de latitud y longitud.

- Por ejemplo, las coordenadas de Cochabamba, Bolivia son : 14.4 ° S, 66.1 ° W.
- El Cuadro muestra los datos del sitio de NASA de insolación solar en una superficie horizontal en kW-hrs./m²-día, lo que se cambia a unidades de kJ/ha-día por el factor de conversión de:

$$1 \text{ kW-hrs./m}^2\text{-día} = 0.359999\text{E}+08 \text{ kJ/ha-día}$$

**: Insolación Solar en Una Superficie Horizontal, Promedio de 22 Años
Cochabamba, Bolivia**

| Mes | <u>kW-hrs. m²-</u> día | kJ/ha-día |
|------------|--|------------------|
| Enero | 5,46 | 1,97E+08 |
| Febrero | 6,4 | 2,30E+08 |
| Marzo | 7,2 | 2,59E+08 |
| Abril | 7,65 | 2,75E+08 |
| Mayo | 7,45 | 2,68E+08 |
| Junio | 5,88 | 2,12E+08 |
| Julio | 5,28 | 1,90E+08 |
| Agosto | 4,96 | 1,79E+08 |
| Septiembre | 6,02 | 2,17E+08 |
| Octubre | 6,16 | 2,22E+08 |
| Noviembre | 5,53 | 1,99E+08 |
| Diciembre | 5,15 | 1,85E+08 |

Fuente: NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=0>)

Notase: 1 kW-hrs./m²-día = 0.359999E+08 kJ/ha-día

Insolación Solar y Carga Superficial Máxima, CS_M Cochabamba, Bolivia

| | KW- Hra/m ² - dia | KJ/ha-dia | Eficiencia de algas | CSM kg ha-día O ₂ |
|------------|---------------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------------------|
| Enero | 5,46 | 1,97E+08 | 0,03 | 269,28 |
| Febrero | 6,4 | 2,30E+08 | 0,03 | 315,64 |
| Marzo | 7,2 | 2,59E+08 | 0,03 | 355,09 |
| Abril | 7,65 | 2,75E+08 | 0,03 | 377,29 |
| Mayo | 7,45 | 2,68E+08 | 0,03 | 367,42 |
| Junio | 5,88 | 2,12E+08 | 0,03 | 289,99 |
| Julio | 5,28 | 1,90E+08 | 0,03 | 260,40 |
| Agosto | 4,96 | 1,79E+08 | 0,03 | 244,62 |
| Septiembre | 6,02 | 2,17E+08 | 0,03 | 296,90 |
| Octubre | 6,16 | 2,22E+08 | 0,03 | 303,80 |
| Noviembre | 5,53 | 1,99E+08 | 0,03 | 272,73 |
| Diciembre | 5,15 | 1,85E+08 | 0,03 | 253,99 |

Dimensionamiento de lagunas facultativas

El área requerida se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_F = \frac{10 \cdot L_A \cdot Q_{med}}{CS_M}$$

donde A_F = el área de la laguna facultativa, m²
 L_A = la concentración promedio de DBO₅ en el afluente, mg/L
 Q_{med} = el caudal promedio, m³/día
 CS_M = la carga superficial máxima, kg DBO₅/ha-día

El tiempo de retención hidráulica se calcula con la Ecuación 4-6:

$$TRH_F = \frac{V_F}{Q_{med}}$$

donde TRH_F = tiempo de retención hidráulica de laguna facultativa, días
 V_F = volumen de laguna facultativa, m³

Se calcula el volumen de la laguna facultativa, V_F , de la siguiente ecuación desarrollada para una laguna con taludes interiores inclinados (U.S. EPA, 1983), lo que es realmente la ecuación para el volumen de un prismoide:

$$V_F = \frac{P}{6} \cdot [(l \cdot a) + (l - 2iP)(a - 2iP) + 4 \cdot (l - iP)(a - iP)]$$

donde

| | | |
|-------|---|---|
| V_F | = | volumen de la laguna facultativa, m ³ |
| P | = | la profundidad de la laguna, m |
| l | = | largo de la laguna, m |
| a | = | ancho de la laguna, m |
| i | = | la relación horizontal/vertical del talud interior, que es normalmente de 3/1 |

- Se recomienda una profundidad de 1.8 a 2.0 metros en las lagunas facultativas para mantener condiciones aeróbicas en el primer metro de profundidad y tener espacio por abajo para la acumulación de lodos. La profundidad más utilizada es 1.8 metros.
- Se recomienda una relación de largo a ancho en lagunas facultativas de por los menos 2/1 y preferiblemente 3/1 para modelar flujo de tipo pistón.

Acumulación de lodos en lagunas facultativas

La acumulación de lodos al fondo de una laguna facultativa puede afectar su funcionamiento, disminuyendo el volumen y por lo tanto el tiempo de retención hidráulica.

Se debe calcular la acumulación en el diseño, y se debe medir la acumulación en la operación y mantenimiento de una laguna facultativa para poder preparar para la remoción de lodos.

Siempre se debe diseñar, por lo menos, dos lagunas facultativas en paralelo para poder secar y remover los lodos de una mientras se mantiene la otra en operación.

La acumulación de lodos en lagunas facultativas monitoreadas en un estudio en Honduras varía entre 0.2—0.55 m³/1,000 m³ de aguas residuales tratadas. Se recomienda que se estime la acumulación de lodos de la carga de sólidos suspendidos y caudal promedio utilizando la siguiente ecuación

$$V_L = 0.00156 \cdot Q \cdot SS$$

donde V_L = volumen de lodos producidos anualmente, m³/año

Q_{med} = caudal promedio, m³/día

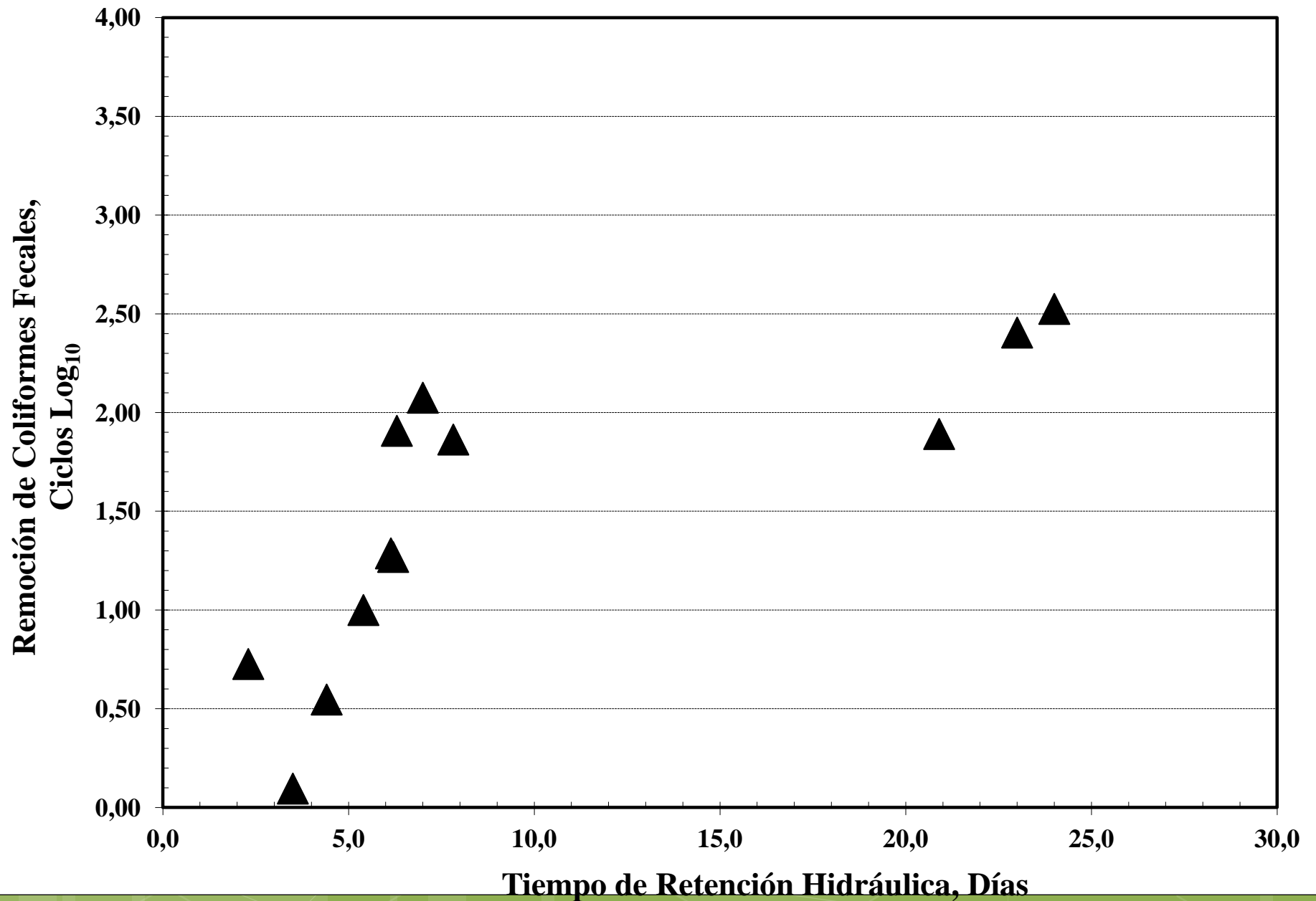
SS = sólidos suspendidos en el afluente, mg/L

- El diseño debe recomendar la frecuencia de limpieza de lodos y el método más apropiado para hacerla.
- Se debe remover los lodos de lagunas facultativas cuando el volumen de lodos acumulados se aproxima al 25% del volumen de la laguna.

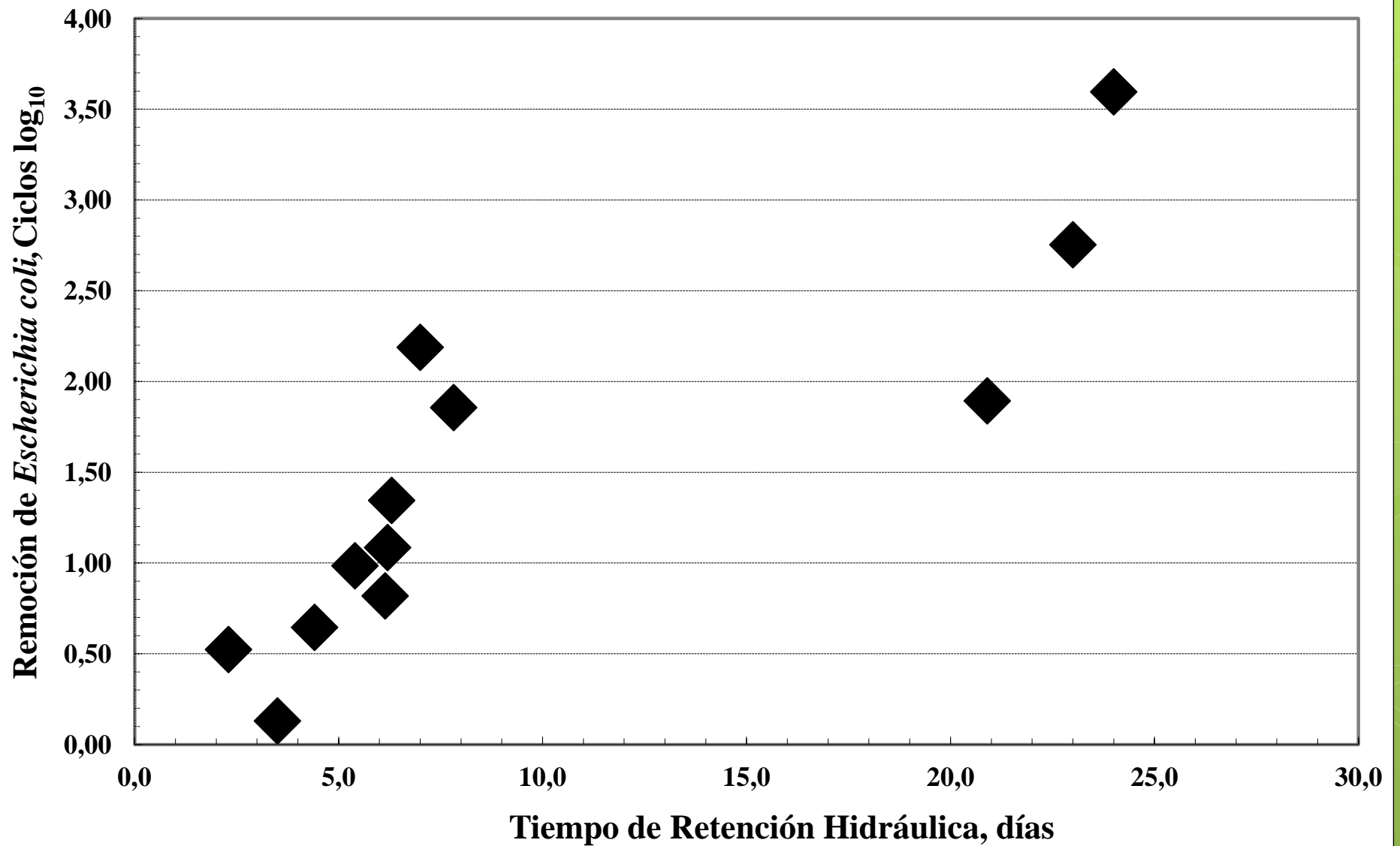
Remoción de Coliformes Fecales y Escherichia coli en Lagunas Facultativas

- Las Figuras siguientes (de un estudio en Honduras) muestran que es posible remover de 2.0 hasta 2.5 ciclos log₁₀ de coliformes fecales y de 2.0 hasta 3.5 ciclos log₁₀ de Escherichia coli en lagunas facultativas con tiempos de retención nominales de 7 a 23 días.
- Como se discute adelante, la diferencia entre lagunas es por el régimen hidráulico en la laguna y los cortos circuitos hidráulicos.
- Si la laguna está bien diseñada hidráulicamente, con un tiempo de retención promedio que aproxima el TRH nominal mínimo de 10 días, se debe obtener una remoción de 2.0 ciclos log₁₀ de coliformes fecales y *E. coli* en lagunas facultativas a temperaturas igual a 25 ° C.

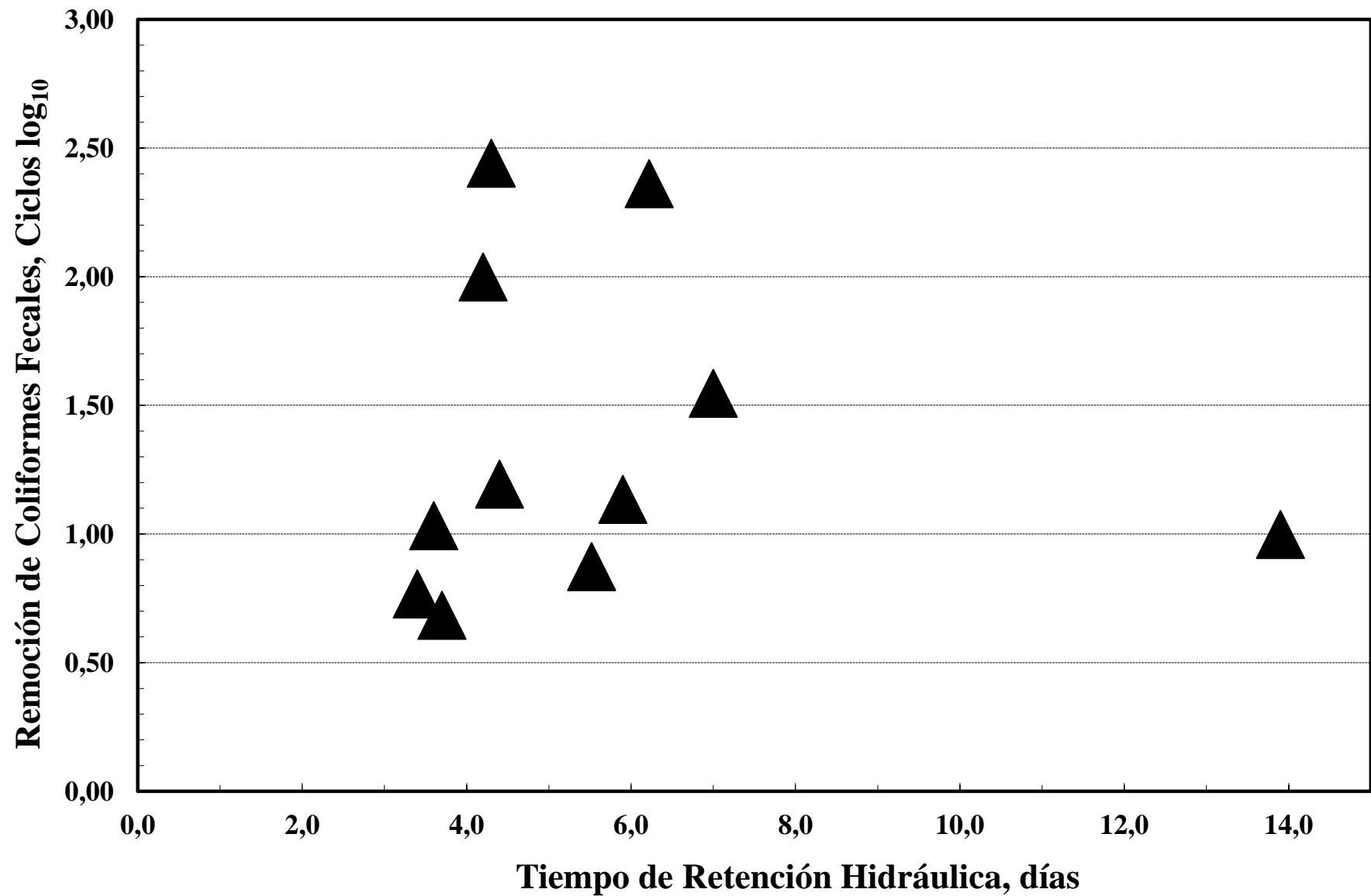
Remoción de Coliformes Fecales en Lagunas Primarias



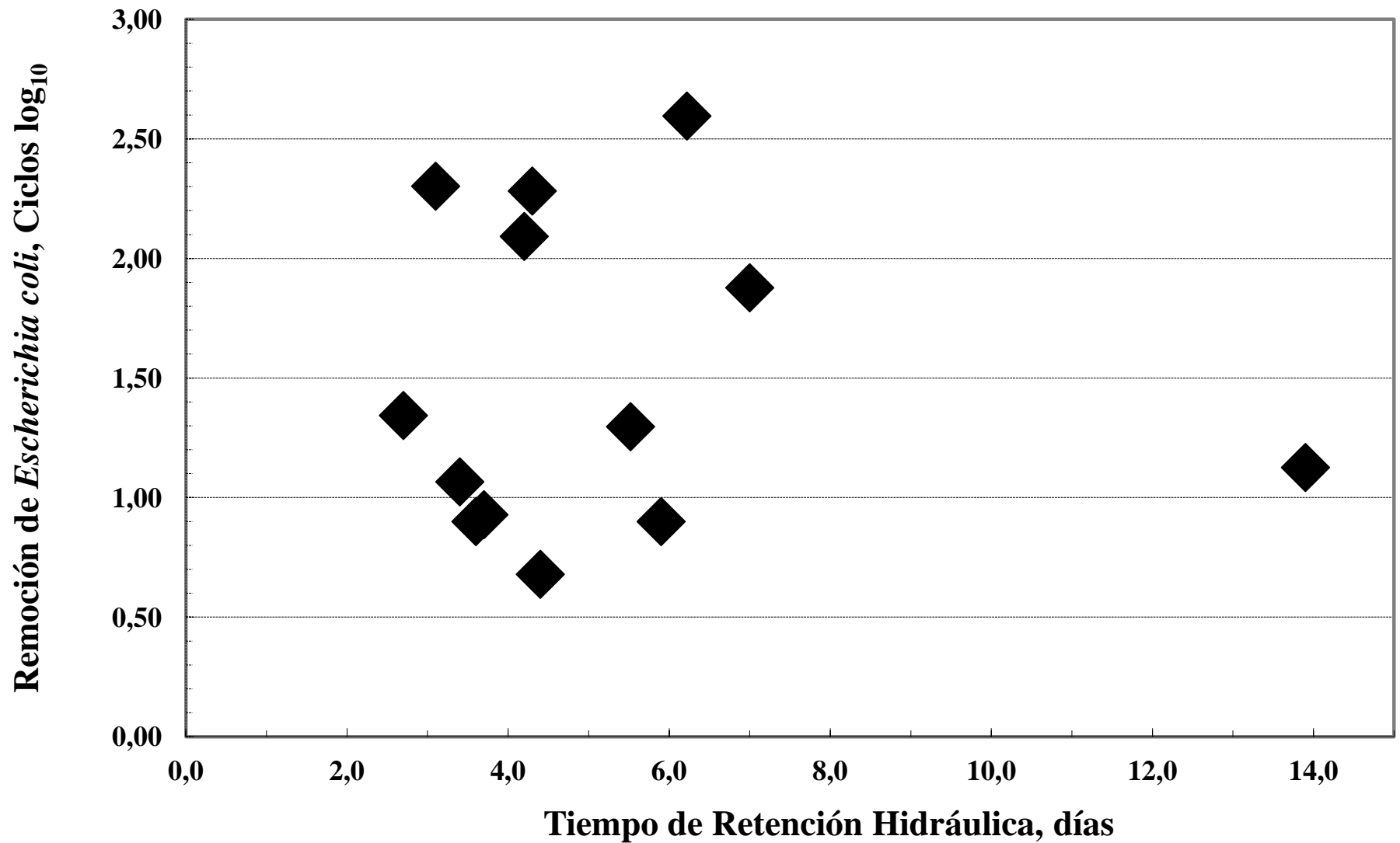
Remoción de *Escherichia coli* en Lagunas Primarias



Remoción de Coliformes Fecales en Lagunas de Maduración



Remoción de *Escherichia coli* en Lagunas de Maduración



Lagunas de Maduración para Remoción de Patógenos

El propósito del uso de lagunas de maduración es el siguiente:

- Tener tiempo de retención adicional para la remoción de patógenos.
- Mejorar la calidad del efluente final.
- Servir como un factor de seguridad si las lagunas primarias tuvieran problemas en su funcionamiento.

Mientras hay varios modelos para la remoción de coliformes fecales en lagunas de maduración, ninguno sirve en la práctica experimentado en el monitoreo de sistemas en América Central (Oakley, *et al.*, 2000).

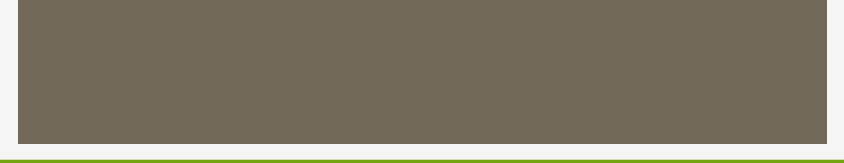
Como resultado, se recomienda que se utilice reglas prácticas del Proyecto de Monitoreo de las Lagunas de Estabilización de Honduras para el diseño de lagunas de maduración.

El Uso de Mamparas para Modelar Flujo de Tipo Pistón y Mejorar el TRH Promedio

Las Figuras anteriores muestran que se puede obtener una remoción de 1.0 a 2.5 ciclos \log_{10} en lagunas de maduración para coliformes fecales y *Escherichia coli* con tiempos de retención hidráulica nominal de 3 a 7 días.

Las lagunas de maduración con mamparas (Catacamas Oeste, Morocelí, y Trinidad en Honduras) tenían una remoción más que las otras lagunas y como resultado se recomienda el uso de mamparas en lagunas de maduración para modelar flujo de tipo pistón.

Se recomienda una relación más de 50/1 de largo/ancho utilizando mamparas para mejorar el régimen hidráulico y aproximar flujo de tipo pistón en lagunas de maduración.



El Cuadro siguiente presenta los resultados de varias investigaciones de sistemas de lagunas donde se midió el TRH promedio con trazadores.

En todos los casos las lagunas sin mamparas—facultativas o de maduración—tenían un TRH promedio solamente entre 42 a 62% del TRH nominal.

**TRH Nominal y Promedio (Medido con Trazadores) Reportados para
Lagunas de Estabilización de Varios Diseños**

| Lugar | Tipo de Laguna | TRH Nominal días | TRH Promedio días | TRH Promedio como porcentaje del TRH Nominal |
|-----------------------|---|-----------------------------|------------------------------|---|
| Colombia ¹ | Maduración | | | |
| | Sin mamparas | 2.52 | 1.06 | 42.1 |
| | Con mamparas (Largo/ancho = 35/1) | 2.52 | 1.26 | 50.0 |
| | Con mamparas y rompevientos | 2.52 | 1.86 | 73.8 |
| México ² | Facultativa | | | |
| | Sin mamparas | 4.30 | 0.92 | 21.4 |
| Perú ³ | Facultativa | | | |
| | Número 1 sin mamparas | 10.32 | 4.85 | 47.0 |
| | Número 3 sin mamparas | 5.65 | 2.77 | 49.0 |
| | Maduración | | | |
| | Número 1 sin mamparas con caudales diferentes | 15.26 18.84 13.13 | 6.98 9.94 5.86 | 45.7 52.8 44.6 |
| | Número 3 sin mamparas | 3.23 | 2.02 | 62.5 |

1. Lloyd, *et al.*, 2003b.

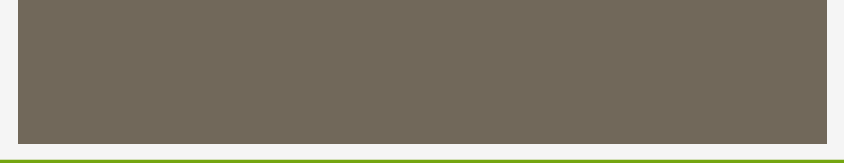
2. Lloyd, *et al.*, 2003a.

3. Yáñez, 1984.





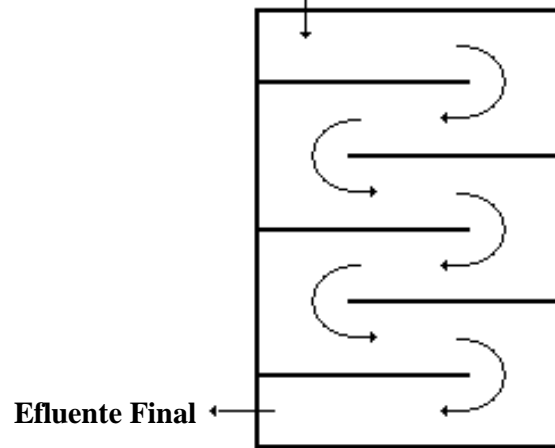
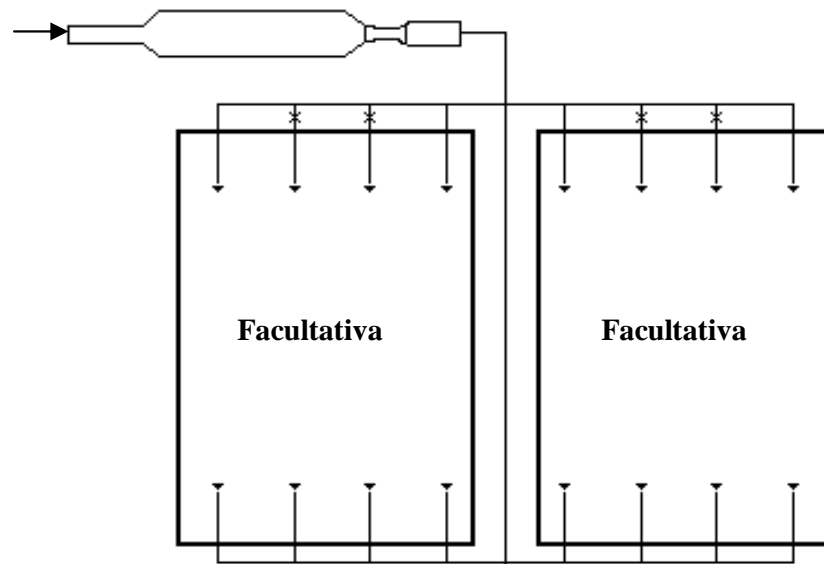




El estudio en Colombia de Lloyd, *et al.* (2003b) mostró que a pesar del uso de mamparas con una relación largo/ancho de 35/1, el viento pudo tener un efecto significativo en los cortos circuitos hidráulicos, mejorando el TRH promedio solamente de 1.06 a 1.26 días.

Sin embargo, cuando ellos utilizaron rompevientos para controlar el efecto del viento, el TRH promedio subió hasta 1.86 días o 73.8% del TRH nominal.

Se puede controlar el efecto del viento con el uso de mamparas transversales en vez de longitudinal (Shilton y Harrison, 2003) como se presenta en la Figura siguiente, lo que es el diseño más recomendado para las lugares con vientos.



**Laguna de Maduración Canalizada
con Mamparas Transversales
Largo/Ancho > 50/1**

TRH Nominal Mínima en Lagunas Facultativas y de Maduración

Asumiendo una tasa de mortalidad del primer orden de coliformes fecales, se escribe la disminución de la concentración de ellos con las siguientes ecuaciones:

$$N = N_o e^{-k_b t}$$

$$\ln \left[\frac{N}{N_o} \right] = -k_b t$$

donde N_o = la concentración inicial de coliformes fecales, NMP/100mL
 N = la concentración final de coliformes fecales, NMP/100mL
 k_b = la constante de mortalidad del primer orden, días⁻¹
 t = tiempo de reacción, días

El tiempo para remover 2.0 ciclos \log_{10} de coliformes fecales ($N = 0.01N_0$) se define como t_{99} (99% remoción) y se calcula así (Feachem, *et al.*, 1983):

$$\ln \left[\frac{0.01}{1.0} \right] = -4.6 = -k_b t_{99}$$

$$t_{99} = \frac{4.6}{k_b}$$

La constante de mortalidad del primer orden para coliformes fecales, k_b , es muy dependiente de la temperatura de la reacción y el tipo de laguna. León y Moscoso (1996) reportaron las siguientes relaciones desarrolladas en los estudios por CEPIS en las lagunas de San Juan, en Lima, Perú (León y Moscoso, 1996):

Lagunas Facultativas:

$$k_b = 0.477(1.18)^{T-20}$$

Primera Laguna de Maduración:

$$k_b = 0.904(1.04)^{T-20}$$

Segunda Laguna de Maduración:

$$k_b = 0.811(1.09)^{T-20}$$

donde T = temperatura del agua, ° C

Parámetros de Diseño para Remoción de Coliformes Fecales

| Tipo de Laguna | T = 20 ° C | T = 25 ° C | T = 30 ° C |
|--|------------|------------|------------------------------|
| Facultativa | | | |
| k_b , días ⁻¹ | 0.563 | 1.09 | No se aplica |
| t_{99} , días (= TRH Promedio) | 8.2 | 4.2 | TRH Nominal < 8-10 días |
| TRH Nominal, días = 0.50 TRH Promedio | 16.4 | 8.4 | y CS Aplicada > CS_m |
| Primera de Maduración | | | |
| k_b , días ⁻¹ | 0.940 | 1.10 | 1.34 |
| t_{99} , días (= TRH Promedio) | 4.9 | 4.2 | 3.4 |
| TRH Nominal, días = 0.50 TRH Promedio | 9.8 | 8.4 | 6.9 |
| = 0.70 TRH Promedio ¹ | 7.0 | 6.0 | 4.9 |

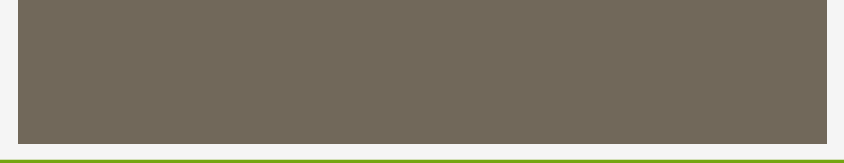
1. Un TRH Nominal = 0.70 TRH Promedio es posible solamente con mamparas sin efectos significativos del viento con una relación largo/ancho > 20/1. En la práctica se recomienda una relación largo/ancho > 50/1.

TRH Nominal Mínima en Lagunas Facultativas y de Maduración

Para lagunas facultativas, los cálculos muestran que a las temperaturas encontradas entre 20—25 ° C, lo más típico rango en las lagunas monitoreadas en Honduras, una laguna con un TRH nominal de 8 a 16 días debe obtener una remoción de 2.0 ciclos \log_{10} para coliformes fecales y *E. coli*.

Se asume que el TRH nominal es 50% del TRH promedio como se presenta en los estudios de lagunas facultativas en el Cuadro anterior

- Para lagunas de maduración, si la laguna está canalizada con mamparas con la relación largo/ancho $> 20/1$, sin efectos significativos del viento, un TRH nominal de solamente 6 a 7 días debe ser suficiente para remover 2.0 ciclos \log_{10} para coliformes fecales y *E. coli*.
- En la práctica se recomienda una relación largo/ancho $> 50/1$ con mamparas transversales para obtener este nivel de remoción.



Como resultado, para la remoción de coliformes fecales y *Escherichia coli*, se recomienda que para el diseño de proceso que se utilice:

un TRH nominal mínimo de 10 días en lagunas facultativas, un TRH nominal mínimo de 7 días en lagunas de maduración, y

que las lagunas de maduración sean canalizadas con mamparas con una relación largo/ancho mínima de 50/1 (lo que elimina los efectos del viento).

Si fuera posible, sería mejor utilizar dos lagunas de maduración en serie, cada una canalizada con mamparas, y que cada una cuenta con un TRH nominal mínimo de 7 días.

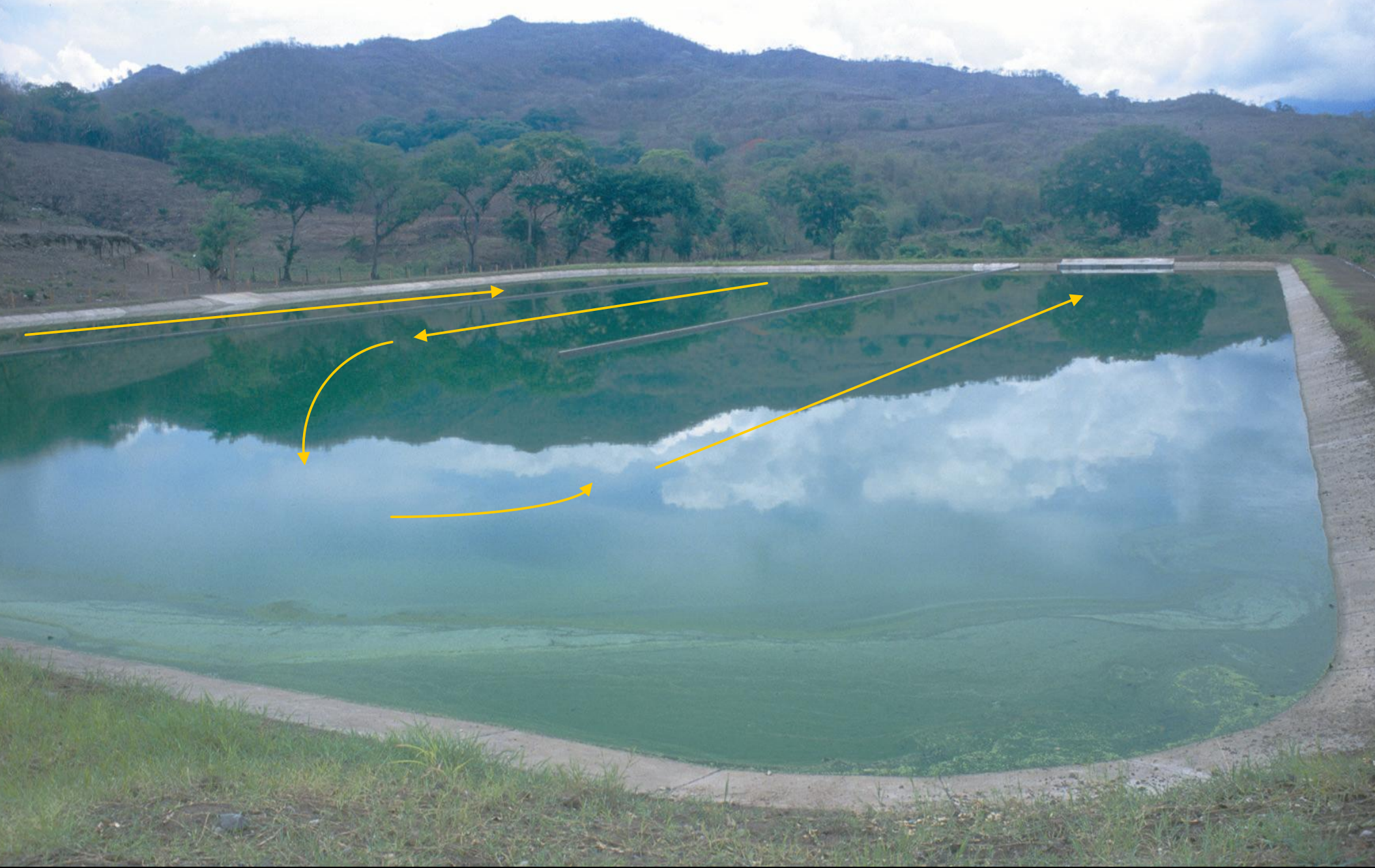
Se debe diseñar las lagunas de maduración con una profundidad de 1.5 a 1.8 metros











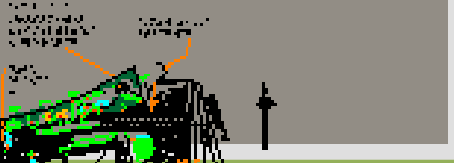








PROJEKT



ULICA WARSZAWSKA

10

WYDZIAŁ

WYDZIAŁ

WYDZIAŁ

WYDZIAŁ



20 9:12