

**Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).**

*Stabilization Ponds Design Series with Different Configurations (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*



**Ing. Facundo Cortés Martínez**

Ingeniero Civil

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción.

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871- 7151315 E- mail: facundo\_cm@yahoo.com.mx



**Ing. Arnulfo Luévanos Rojas**

Ingeniero Civil

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción.

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono: 871-7147119 E-mail: arnulfol\_2007@hotmail.com



**Ing. Ramón Luévanos Rojas**

Ingeniero Industrial en Electrónica

Candidato a doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail: luera\_2000@yahoo.com



**Ing. Armando César Uranga Sifuentes**

Ingeniero Civil

Candidato a doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail armando\_uranga@yahoo.com.mx

**Arq. Claudia Mayela Ávila Garza**

Arquitecto

Maestra en Ciencias de la Ingeniería Civil con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail: arq\_claudiavila@yahoo.com.mx

*Ing. Facundo Cortés Martínez. Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

**José Luis González Barrios**

Biólogo

Dr. En Hidrología y Edafología

Universidad de Montpellier II Francia.

Investigador titular. SNI nivel I

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro

Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.

Margen Derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Dgo. C. P. 35140.

Tel + (52) (871) 159 0105 Email: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

Recibido: 17-08-11

Aceptado: 04-10-11

**RESUMEN:**

Una de las principales desventajas en un sistema de tratamiento de lagunas de estabilización es el requerimiento del terreno, es por ello que en el diseño se deben analizar varias propuestas. El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis comparativo de resultados en el diseño de una planta de tratamiento a base de lagunas. Lo indicado incluyendo dos arreglos en serie, el primero: anaerobia, facultativa y maduración. En el segundo caso, facultativa y maduración. Se diseñó una planta de tratamiento para una comunidad rural localizada en el municipio de Gómez Palacio, Dgo. Los resultados del primer arreglo muestran un área menor del 17.11 % y un tiempo de retención de 21.68 días. Los dos esquemas analizados cumplen satisfactoriamente con los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes que indica la normatividad. El primer arreglo de lagunas de estabilización es el que se recomienda de acuerdo con las condiciones climáticas locales. Es prudente proponer otros arreglos de lagunas, luego comparar los resultados considerando la disponibilidad del terreno, recursos económicos y las normas de calidad aplicables.

**Palabras clave:** Lagunas de estabilización, Lagunas / dimensionamiento, Plantas de tratamiento.

**ABSTRACT:**

*A major disadvantage in a system of stabilization pond treatment is the requirement of the land, which is why the design proposals should be analyzed. The aim of this study was to conduct a comparative analysis of results in the design of a plant-based treatment lagoon. The arrangement shown including two series, the first: anaerobic, facultative and maturation. In the second case, facultative and maturation. We designed a treatment facility for a rural community located in the city of Gomez Palacio, Durango. Results from the first show under a smaller area of 17.11% and a retention time of 21.68 days. The two schemes analyzed satisfactorily meet the maximum allowable limits of concentration of pollutants which indicates the regulations. The first arrangement of stabilization ponds is recommended according to local climatic conditions. It is prudent to propose other arrangements of gaps, then compare the results considering the availability of land, economic resources and quality standards applicable*

**Keywords:** Stabilization ponds, Lagoons / sizing, Treatment plants.

*Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2011, vol.5 no.3.*

## **Introducción:**

Las lagunas de estabilización son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo; los costos de operación son bajos, se garantiza la remoción de la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales con unidades de número más probable NMP/100 mL [1].

En el tratamiento de aguas residuales la materia orgánica se refiere a todos los contaminantes que provengan de organismos vivos [2]. La demanda bioquímica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno utilizado en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica durante cinco días a 20 °C. Normalmente se expresa en términos de concentración; se usa como medida para dimensionar las lagunas de estabilización, determinar la eficacia de una planta de tratamiento de aguas residuales y el daño que un efluente puede causar al río donde se descarga. [3]. Las bacterias de coliformes fecales se encuentran en el sistema digestivo de humanos y animales. Su presencia en el agua indica la posibilidad de que existan organismos dañinos (causan enfermedades)

Una laguna es básicamente una excavación, compactación y construcción de bordos, con el fin de almacenar agua residual por un tiempo determinado, lo anterior con el propósito de obtener efluentes de acuerdo con lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, ésta señala los límites máximos permisibles de contaminantes que pueden ser descargados en los diferentes cuerpos receptores. [4]

Rolim (2000) clasifica las lagunas de estabilización en: anaerobias, facultativas y de maduración o pulimiento.

Anaerobias. Los virus, bacterias, protozoarios y huevos de helminto se decantan; una vez en el lodo, el proceso anaeróbico de la materia orgánica se encarga de eliminar a estos microorganismos. La mortandad depende en gran medida del tiempo de retención hidráulico; el tratamiento se realiza sin oxígeno disuelto y la profundidad recomendada para este tipo de lagunas es de 2.5 a 5 m.

Facultativas. Presenta condiciones anaerobias en la parte inferior, una zona facultativa intermedia, y una capa aerobia en la parte superior. El tratamiento del agua residual es más complejo. Influyen factores importantes en el proceso: radiación solar, sedimentación, potencial de hidrógeno elevado, altas concentraciones de oxígeno disuelto y tiempo de retención hidráulico entre otras. La profundidad que se recomienda para este tipo de lagunas es de 1.5 a 2 m.

La existencia de nutrientes en el agua residual, por ejemplo: nitrógeno, fósforo y carbono favorecen el desarrollo de algas; éstas producen oxígeno disuelto a través de la fotosíntesis. El oxígeno es utilizado por las bacterias aerobias para realizar la oxidación de la materia orgánica. Luego, las bacterias producen gas carbónico, mismo que es utilizado por las algas. Existe pues una relación simbiótica entre bacterias y algas [1]

Maduración o pulimiento. La principal función es la muerte de los organismos patógenos. El tratamiento se lleva a cabo en condiciones aeróbicas. La profundidad que se considera en el diseño es de 0.90 a 1.5 m. [5]

Las lagunas de estabilización se clasifican también de acuerdo a la secuencia de las unidades de tratamiento; es decir, en serie o en paralelo. Un ejemplo de lagunas en serie es una laguna facultativa seguida de otra laguna facultativa y luego una de maduración, o bien una laguna anaerobia más facultativa y maduración, aunque también puede funcionar una sola laguna (facultativa).

*Ing. Facundo Cortés Martínez. Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

En paralelo. Es conveniente diseñar y construir series de lagunas en paralelo, lo anterior con el fin de proporcionar adecuadamente el mantenimiento de éstas. [6]

La principal desventaja de las lagunas de estabilización es el alto requerimiento de área; se necesita más área que cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, es recomendable realizar un análisis detallado en el diseño de la planta de tratamiento; considerando varias alternativas en el arreglo o configuración de lagunas. Lo anterior con el propósito de determinar la menor área posible en la ejecución del proyecto.

Los métodos existentes en el diseño de lagunas de estabilización permiten determinar lo siguiente: a) la carga orgánica superficial, b) la eficiencia de remoción de la materia orgánica  $DBO_5$ , c) remoción de coliformes fecales, d) el área y volumen, e) tiempo de retención hidráulico y f) el número de lagunas en paralelo o en serie.

La carga orgánica superficial de diseño es la masa diaria de materia orgánica que se aplica a la laguna por unidad de área y sus unidades son en  $kg/DBO_5/ha/día$

El diseño de lagunas de estabilización es complejo: incluye varias disciplinas. A continuación se indican algunas de las actividades previas al diseño. a) Proyección de la población al horizonte de proyecto, b) cálculo de gastos actuales y futuros (al horizonte de proyecto por cada año), c) ubicación del sitio además de la topografía, vientos y distancia al centro de la ciudad, d) trazo del emisor: afectación de predios ejidales y privados, e) permisos para cruce de líneas: Comisión Federal de Electricidad, Pemex y Ferrocarril Mexicano. f) caracterización de las aguas residuales; demanda bioquímica de oxígeno (DBO); demanda química de oxígeno (DQO); temperatura, sólidos, nitrógeno, fósforo, grasas y aceites, número más probable de coliformes fecales entre otros importantes, g) definir el modelo a ser usado; o sea, decidir qué tipos de lagunas serán incluidas en el diseño, y finalmente h) determinar el diagrama de flujo.

A la fecha se han publicado métodos para el diseño de plantas de tratamiento a base de lagunas de estabilización; por ejemplo: Notes on the design and Operation and Waste Stabilization Ponds and Warm Climates of Developing Countries [7]; Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo [8]; Lagunas Facultativas en Serie y en Paralelo Criterios de Dimensionamiento. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales [9]; Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad. Lagunas de Estabilización en Honduras [10]; y en México la Comisión Nacional del Agua (CNA) Manual de Diseño de Lagunas de Estabilización [5]

En México, el diseño de lagunas de estabilización mediante el flujo disperso, fue adoptado por la Comisión Nacional del Agua; se considera que éste se ajusta a las condiciones ambientales.

El objetivo del presente estudio fue: 1) determinar las dimensiones y el área de una planta de tratamiento de lagunas de estabilización incluyendo dos arreglos o configuraciones y 2) comparar las áreas superficiales de ambos arreglos, con el fin de identificar la menor área posible de acuerdo con las condiciones locales de la región bajo estudio.

### **Desarrollo:**

El método de diseño fue consultado en: Paquetes Tecnológicos para el Tratamiento de Excretas y Aguas Residuales en Comunidades Rurales (CNA, 1997 p 45 - 67). Para la laguna anaerobia, se calculó de acuerdo al método de Marais; para la laguna facultativa y de maduración el de flujo disperso.

*Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2011, vol.5 no.3.*

### Laguna anaerobia

La carga orgánica se calcula mediante la ecuación (1). La unidad de volumen debe encontrarse entre el intervalo de 100 a 400  $g/m^3$

1) Carga orgánica

$$C.O. = Q_i (DBO_i) / 1000 \quad (1)$$

Donde:

$Q_i$  = Caudal en el influente de la laguna en ( $m^3 / día$ )

$DBO_i$  = Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el influente de la laguna en ( $mg / L$ )

1000 = Factor de conversión

2) Carga superficial de diseño

$$\lambda_v = 20(T) - 100 \quad (2)$$

Donde:

$\lambda_v$  = Carga orgánica superficial, ( $g.DBO_5 / m^3 - día$ )

$T$  = Temperatura media mensual mínima de aire ( $°C$ )

3) Remoción de la DBO

$$\% \text{ DBO removido} = 2T + 20 \quad (3)$$

La variable ya fue definida

4) Volumen de la laguna

$$Va = L_i Q_i / \lambda_v \quad (4)$$

Donde:

$Va$  = Volumen de la laguna en ( $m^3$ )

$L_i$  = Concentración de la DBO en el influente de la laguna en ( $mg / L$ )

$Q_i$  = Caudal en el influente en ( $m^3 / día$ )

La variable restante ya fue definida

5) Área de la laguna

Profundidad de la laguna ( $Z$ ) de 2 a 4 m

$$Aa = Va / Z \quad (5)$$

Donde:

$Aa =$  Área de la laguna en ( $m^2$ )

Las demás variables ya fueron definidas

6) Tiempo Medio de retención hidráulico

$$Oa = Va / Qi \quad (6)$$

Donde:

$Oa =$  Tiempo medio de retención hidráulico

Las demás variables ya fueron definidas

7) Concentración de la DBO en el efluente de la laguna

$$DBOe = (100 - \%DBOremovida)(DBOi) \quad (7)$$

Donde:

$DBOe =$  Concentración de la DBO en el efluente en ( $mg / L$ )

Las demás variables ya fueron definidas

8) Gasto en el efluente

$$Qe = Qi - 0.001Ae \quad (8)$$

Donde:

$Qe =$  Caudal en el efluente de la laguna ( $m^3 / día$ )

$e =$  Evaporación en ( $mm / día$ )

Las demás variables ya fueron definidas

9) Remoción de coliformes fecales. Constante global de decaimiento

$$Kt.(d^{-1}) = 2.6(1.19)^{T-20} \quad (9)$$

Donde:

$Kt.(d^{-1}) =$  Constante global de decaimiento en ( $d^{-1}$ )

La variable T ya fue definida

Coliformes fecales en el efluente de la laguna

$$Ne = \frac{Ni}{1 + KtO} \quad (10)$$

$Ne =$  Coliformes fecales en el efluente de la laguna en ( $NMP / 100mL$ )

$Ni =$  Coliformes fecales en el influente de la laguna en ( $NMP / 100mL$ )

Las demás variables ya fueron definidas

10) DBO corregida por evaporación

$$DBO_e = (DBO_i)(Q_i) / Q_e \quad (11)$$

Las variables ya fueron definidas

11) Coliformes fecales corregidos por evaporación.

$$N_e = (N_i)(Q_i) / Q_e \quad (12)$$

Las variables ya fueron definidas

12) Dimensionamiento de la laguna. Relación largo ancho  $X = 2$

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A}{X}} \quad (13)$$

Donde:

$B_{prom}$  = Ancho promedio de la laguna en (m)

Las variables ya fueron definidas

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}} \quad (14)$$

$L_{prom}$  = Longitud promedio de la laguna en (m)

Se considera el talud 0:1 (los muros son verticales construidos de concreto)

$$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Tálud)$$

(15)

Donde:

$B_{sup}$  = Ancho superior de la laguna en (m)

$Z$  = Profundidad de la laguna en (m)

$$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Tálud) \quad (16)$$

$L_{sup}$  = Largo superior de la laguna en (m)

Las demás variables ya fueron definidas

Cálculo del área superficial

$$A_{sup} = (B_{sup})(L_{sup}) \quad (17)$$

Donde:

$A_{sup}$  = Área superficial de la laguna en ( $m^2$ )

Las demás variables ya fueron definidas

**Diseño de laguna facultativa.  
(Flujo disperso. Método de Yáñez)**

Los datos para el cálculo de la laguna facultativa se obtienen de la laguna anaerobia, éstos son: DBO en el efluente corregido por evaporación, coliformes fecales corregidos por evaporación, gasto en el efluente de la laguna, temperatura y evaporación.

a) Carga orgánica. Se aplica la ecuación (1) de la laguna anaerobia

b) Carga superficial de diseño

La ecuación siguiente es la más adecuada que se aproxima a las condiciones de México [5]

$$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20} \quad (18)$$

Donde:

$\lambda_s$  = Carga orgánica superficial ( $Kg.DBO_5 / ha.día$ )

$T$  = Temperatura media mensual mínima de aire, ( $^{\circ}C$ )

c) Área de la laguna facultativa

Se calcula con base en la carga superficial mediante la siguiente ecuación

$$A_f = 10L_i Q_{med} / \lambda_s \quad (19)$$

Donde:

$A_f$  = Área de la laguna facultativa en ( $m^2$ )

$Q_{med}$  = Caudal en el influente ( $m^3 / día$ )

Las demás variables ya fueron definidas

d) Volumen de la laguna

$$V = (A)(Z) \quad (20)$$

Donde:

$V$  = Volumen en ( $m^3$ )

$Z$  = Profundidad de la laguna, ( $mts$ ) de 1.5 a 1.8 metros.

e) Tiempo de retención hidráulico. Aplicar la ecuación (6) de la laguna anaerobia.

f) Dimensionamiento. Relación largo ancho  $X = 3$  (para minimizar cortocircuitos). Para determinar el ancho y longitud promedio de la laguna facultativa; aplicar las ecuaciones (13) y (14) de la laguna anaerobia. Para el ancho y largo superiores ( $B_{sup}$  y  $L_{sup}$ ) aplicar las fórmulas (15) y (16). Se considera un talud 2:1 Profundidad de la laguna  $Z = 1.5$  m.

g) Cálculo del área superficial. Aplicar fórmula (17)

h) Gasto en el efluente. Aplicar fórmula (8)

i) Remoción de coliformes fecales. Coeficiente de dispersión: la ecuación considera la relación largo ancho ( $X$ ). [11]



Ing. Facundo Cortés Martínez. *Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

Considerando mamparas con longitud de 0.70 el largo de la laguna se tiene que:

$$X = (L_{prom}) (0.70) (\text{No. de mamparas} + 1) / (B_{prom}) / (\text{No. de mamparas} + 1)$$

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392(X) + 1.0136(X)^2} \quad (21)$$

Donde:

$d$  = Factor de dispersión adimensional  
Las demás variables ya fueron definidas

j) Coeficiente de reducción bacteriana. Es un coeficiente de velocidad de remoción de coliformes fecales: depende de la temperatura. [5]

$$K_b = 0.841(1.075)^{T-20} \quad (22)$$

Donde:

$K_b$  = Coeficiente de decaimiento bacteriano ( $\text{día}^{-1}$ )  
La demás variable T ya fue definida.

k) Constante "a"

Se determina a través de la fórmula de Wehner & Wilhem y simplificada por Thirimurthi.

$$a = \sqrt{1 + 4(K_b O d)} \quad (23)$$

Donde:

$a$  = Constante adimensional  
 $O$  = Tiempo de retención hidráulico en días  
La variable  $K_b$  ya fue definida

l) Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa. La CNA e IMTA adoptaron este modelo: éste fue propuesto por Thirumurti 1969. El cálculo se basa en la ley de Chick [12]

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} N_i \quad (24)$$

Donde:

$\frac{N_f}{N_o}$  = Número de coliformes fecales en el efluente ( $NMP/100mL$ )  
 $N_i$  = Número de coliformes fecales en el influente ( $NMP/100mL$ )  
 $e = 2.7182818$   
Las demás variables ya fueron definidas

m) Coliformes fecales corregidos por evaporación. Aplicar la fórmula (12)

n) Concentración de la DBO en el efluente de la laguna. La constante para lagunas facultativas fue determinada en el laboratorio a 35 ° C. El resultado fue  $K_f = 1.2 \text{ día}^{-1}$

Ing. Facundo Cortés Martínez. *Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

Para temperaturas diferentes, aplicar la siguiente ecuación.

$$K_f = \frac{K_{f_{35}}}{(1.085)^{35-T}} \quad (25)$$

Donde:

$K_f$  = Constante de decaimiento a una temperatura en cualquiera  $dia^{-1}$

$K_{f_{35}}$  = Adimensional

La variable T ya fue definida.

Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_i}{K_f O + 1} \quad (26)$$

$DBO_{ef}$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna en  $(mg/Lt)$

$DBO_i$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el influente de la laguna en  $(mg/Lt)$

Las demás variables ya fueron definidas.

o) Eficiencia de remoción de la DBO

$$\% = \frac{(DBO_i - DBO_e)}{DBO_i} \times 100 \quad (27)$$

Las variables ya fueron definidas.

p) DBO corregida por evaporación. Aplicar la ecuación (11)

### **Laguna de maduración. (Método flujo disperso)**

1) Tiempo de retención hidráulico. (O) Se analiza por tanteos; es decir, se propone un tiempo de retención hidráulico y se revisa la concentración de los coliformes fecales en el efluente: éstos deben ser menor de 1000 NMP/100 mL

2) Volumen de la laguna.

$$V = (Q_i)(O) \quad (28)$$

Las variables ya fueron definidas.

3) Área de la laguna

$$A = \frac{V}{Z} \quad (29)$$

Las variables ya fueron definidas.

Para el resto del diseño, se aplicaron las ecuaciones a partir del inciso f) hasta p) que se indica en la metodología de la laguna facultativa.

*Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2011, vol.5 no.3.*

### Aplicación del método

Se diseñó una planta de tratamiento de lagunas de estabilización para una comunidad rural que cuenta con sistema de drenaje y alcantarillado. Ésta se ubica en el municipio de Gómez Palacio, Dgo. Datos: número de habitantes al horizonte de proyecto 2,000; aportación de aguas negras 154 L/hab/día [6] gasto de diseño 308 m<sup>3</sup> / día .Temperatura promedio del mes más frío 12.9°C [5] concentración de la DBO<sub>5</sub> 220 mg/L; coliformes fecales 1x10<sup>7</sup> NMP/100 mL. Según Metcalf & Eddy [3], estos son valores típicos que corresponden a las aguas residuales del tipo doméstico; la evaporación es de 5 mm/día. Considerar la relación largo ancho de 2 para lagunas anaerobias y de 3 para facultativas; para maduración se tomará el ancho calculado en la laguna facultativa.

Para determinar la calidad del agua residual tratada, se incluyó como base lo que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-96. Los contaminantes con sus valores de concentración son los siguientes: DBO<sub>5</sub> 30 mg/L y coliformes fecales menos de 1000 NMP/100 mL [4]

Si no se determinan los valores de concentración que señala la NOM-001 (DBO y coliformes fecales), se diseñarán lagunas en serie hasta que éstos se cumplan; considerando los procedimientos de diseño ya indicados. El modelo de operación se consideró de lagunas en serie.

### Resultados

**Tabla 1.** Resultados del diseño de lagunas de estabilización. Configuración: anaerobia, facultativa y pulimiento o maduración

| Tipo de laguna | Población de proyecto (Hab) | Gasto de diseño (m3/día) | DBO en el influente (mg/Lt) | Coliformes fecales inf. (NMP/100 ml) | Carga orgánica (kg/día) | Carga sup. de diseño (g/m3/día) | Prof. Z (m) | Volumen laguna m3 | Tiempo de retención d | Número de mamp. | Long. 0.7 long | Gasto efluente (m3/día) |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| Anaerobia      | 2,000                       | 308                      | 220                         | 10,000,000                           | 67.76                   | 158                             | 4           | 428.86            | 1.39                  |                 |                | 307.46                  |
| Facultativa    |                             | 307.46                   | 119.45                      | 4,879,833                            | 36.73                   | 140.08                          | 1.5         | 3,932.58          | 12.79                 | 2               | 0.7            | 292.53                  |
| Pulimiento     |                             | 292.53                   | 35.57                       | 29,992                               |                         |                                 | 1.2         | 2,193.98          | 7.5                   | 4               | 0.7            | 282.26                  |

| % de remoción DBO | DBO en el efluente (mg/L) | Coliformes fecales efl. NMP/100 m | Área prom. laguna m2 | Relación largo-ancho | Talud | B. Prom. m | L. Prom. m | B. Sup. m | L. Sup. m | Área superf. m2 | B. Inf m | L. Inf. m |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|----------|-----------|
| 45.8              | 119.45                    | 4,879,833                         | 107.22               | 2:1                  | 0:1   | 7.32       | 14.64      | 7.32      | 14.64     | 107.22          | 7.32     | 14.64     |
| 71.67             | 35.57                     | 29,992                            | 2,622                | 3:1                  | 2:1   | 29.56      | 88.69      | 32.56     | 91.69     | 2,985           | 26.56    | 85.69     |
| 59.73             | 14.84                     | 975                               | 1,828.31             |                      | 2:1   | 29.56      | 61.85      | 31.96     | 64.25     | 2,053.46        | 27.16    | 59.45     |
|                   |                           |                                   |                      |                      |       |            |            |           | Suma:     | 5,145.68        |          |           |

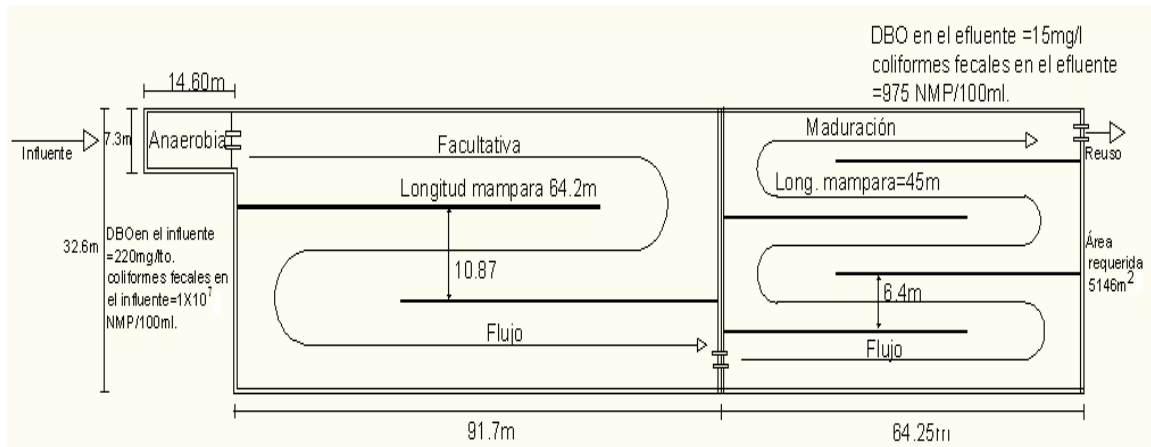


Figura 1. Dimensiones del sistema lagunar. Arreglo: anaerobia, facultativa y maduración.

Tabla 2. Resultados del diseño de lagunas de estabilización. Configuración: facultativa y pulimiento o maduración.

| Tipo de laguna | Población de proyecto (Hab) | Gasto de diseño (m <sup>3</sup> /día) | DBO en el influente (mg/Lt) | Coliformes fecales inf. (NMP/100 ml) | Carga orgánica (kg/día) | Carga sup. de diseño (g/m <sup>2</sup> /día) | Prof. Z (m) | Volumen laguna m <sup>3</sup> | Tiempo de retención d | Número de mamp. | Long. 0.7 long | Gasto efluente (m <sup>3</sup> /día) |
|----------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|
| Facultativa    | 2000                        | 308                                   | 220                         | 10,000,000                           | 67.76                   | 140.08                                       | 1.5         | 7,256                         | 23.56                 | 2               | 0.7            | 281.36                               |
| Pulimiento     |                             | 281.36                                | 42.56                       | 2,471                                |                         |  | 1.2         | 675                           | 2.1                   | 4               | 0.7            | 277.87                               |

| % de remoción DBO | DBO en el efluente (mg/L) | Coliformes fecales efl. (NMP/100 ml) | Área prom. laguna m <sup>2</sup> | Relación largo-ancho | Talud | B. Prom. m | L. Prom. m | B. Sup. m | L. Sup. m | Área superf. m <sup>2</sup> | B. Inf m | L. Inf. m |
|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|
| 82.33             | 42.56                     | 2,471                                | 4837                             | 3:1                  | 2:1   | 40.15      | 120.46     | 43.15     | 123.46    | 5,328                       | 37.15    | 117.46    |
| 32.19             | 29.22                     | 868                                  | 563                              |                      |       | 40.15      | 14.02      | 42.55     | 16.42     | 698                         | 37.75    | 11.62     |
| Suma:             |                           |                                      |                                  |                      |       |            |            |           |           | 6,026                       |          |           |

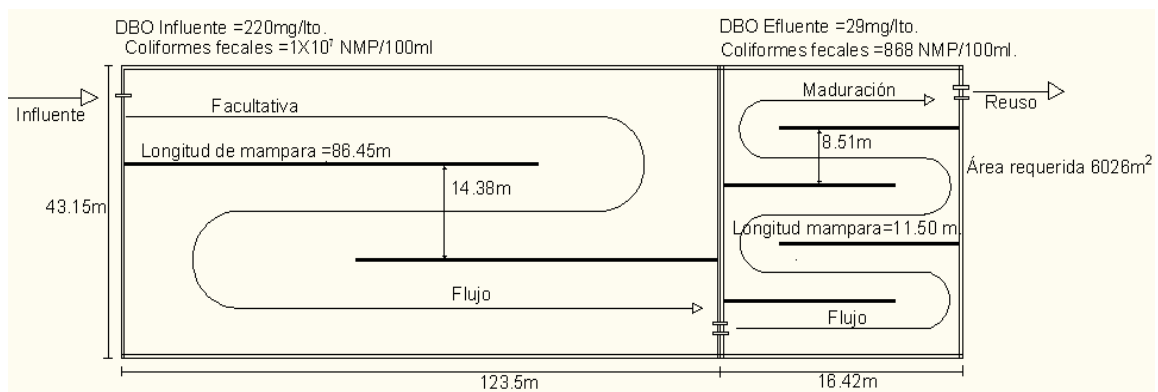


Figura 2. Dimensiones del sistema lagunar. Arreglo: facultativa y maduración

## **Discusión**

Como puede observarse las dos configuraciones cumplen con los límites máximos permisibles que menciona la normatividad. En la tabla 1 y 2 en las columnas de la DBO en el efluente, indican menos de 30 mg/L., de igual forma las columnas de coliformes fecales en el efluente señalan menos de 1000 NMP/mL.

De acuerdo a los resultados de la tabla 1, el área requerida para la construcción de las lagunas con la configuración: anaerobia, facultativa y maduración, es de 5,145.68 metros cuadrados y un tiempo de retención total de 21.68 días; con el de facultativa más maduración de 6,026 y tiempo de retención total de 25.66 días. Existe una diferencia de 880.32 metros cuadrados: el 17.11 %. Lo anterior es un porcentaje importante en términos de adquisición de terreno e infraestructura. Como ya se indicó, la principal desventaja de los sistemas de tratamiento lagunares, es la gran área de terreno que ocupan.

La configuración anaerobia, facultativa y maduración o pulimiento resultó con menor área debido a la incorporación de una laguna adicional (anaerobia). Ésta realiza un desbaste de la materia orgánica del 45.8 % en un tiempo de retención relativamente corto: 1.39 días. A diferencia de la segunda configuración: remueve un 82.33 % pero en 23.56 días.

La eficiencia de remoción de la materia orgánica resultó mayor con la primera configuración; no obstante el resultado anterior la remoción de coliformes fecales fue más eficiente en el segundo arreglo.

## **Análisis de resultados**

Según la Organización Mundial de la salud citada por Rolim (2000) menciona que la carga orgánica superficial, que puede aplicarse a una laguna facultativa se encuentra entre los límites de 200 y 400 kg/DBO<sub>5</sub> /ha/día, para climas cálidos y templados. Mc Garry y Pescod, sugieren cargas orgánicas superficiales entre el intervalo de 140 a 280 kg/DBO<sub>5</sub> /ha/día. Los resultados del presente estudio coinciden con las afirmaciones del último autor, en los dos casos la carga orgánica superficial se encuentra entre estos límites.

Rolim (2000) menciona que la eficiencia de remoción de la materia orgánica en lagunas facultativas primarias, como es el caso de la segunda configuración, se localiza en el intervalo del 70 al 80 %. El presente análisis resultó ligeramente mayor al 80 % por lo tanto también se coincide con las afirmaciones del autor. De acuerdo con la tabla 2 la remoción de la DBO fue del 82 %

Con base en los resultados se puede señalar lo siguiente, considerando los factores locales: intensidad de la luz solar, viento, temperatura, precipitación y evaporación entre otros importantes. La configuración que se sugiere se tome en cuenta es la de anaerobia más facultativa más maduración. Ésta fue la que obtuvo menor requerimiento de área y tiempo de retención total. Es importante aclarar que los resultados del presente análisis aplican única y exclusivamente para las condiciones de la región donde se localiza el área bajo estudio.

## **Conclusiones:**

Es prudente llevar a cabo estudios adicionales en el diseño de la planta de tratamiento, lo anterior, considerando otras configuraciones. Luego, determinar el arreglo más conveniente de acuerdo con la disponibilidad del terreno, recursos económicos y costos de mantenimiento. En el caso

*Ing. Facundo Cortés Martínez. Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

presente, el método de análisis y arreglo de lagunas que se recomienda, es el de anaerobia, facultativa y maduración. Éste resultó con menor área y tiempo de retención hidráulico.

El dimensionamiento de las plantas de tratamiento de lagunas de estabilización, está ligado a la calidad del agua residual que se requiera; es decir, los modelos de diseño permiten establecer el número de lagunas necesarias hasta obtener la calidad requerida.

La operación y mantenimiento de los sistemas de lagunas de estabilización son fáciles y sencillos: no se necesita de personal especializado y los costos de operación son bajos. Estos sistemas son recomendables para países en desarrollo.

### **Bibliografía:**

- [1] Rolim, M. S. (2000). Lagunas de Estabilización. En: Como utilizar Aguas Residuales Tratadas en Sistemas de Regadío. Santa Fé de Bogotá. McGraw-Hill
- [2] CNA e IMTA. (2000). Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado Saneamiento. Guía para el Control de Descargas a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal. Jiutepec, Morelos, México
- [3] Metcalf & Eddy, (1991), Wastewater engineering. Treatment, Disposal, Reuse. E.U.A. McGraw-Hill.
- [4] Diario Oficial de la Federación. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001- ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas en aguas y bienes nacionales. México.
- [5] CNA e IMTA. (1996). Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Manual de Diseño de Lagunas de Estabilización, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos. México.
- [6] CNA e IMTA, (1997), Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Paquetes Tecnológicos para el Tratamiento de Excretas y Aguas Residuales en Comunidades Rurales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos México.
- [7] Arthur, J.P. (1983). Notes on the design and Operation and Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries. World Bank. Technical Paper Number 7. E. U. A.
- [8] Yáñez Cossio, F. (1984). Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo. Consultado el 26 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan2/015767/015767.pdf>
- [9] Rojas, V. F. y León, G. (1990). Lagunas Facultativas en Serie y en Paralelo. Criterios de Dimensionamiento. (OMS/CEPIS). Lima Perú. Consultado el 30 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind42/lagunas/lagunas.html>
- [10] Oakley, S. (2005). Lagunas de Estabilización en Honduras. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad. (Universidad Estatal de California). Consultado el 2 de Junio de 2011. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>

*Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2011, vol.5 no.3.*

*Ing. Facundo Cortés Martínez. Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones. (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).*

- [11] Yáñez Cossio, F. (1983). Manual de Métodos Experimentales. Evaluación de Lagunas de Estabilización. (OMS/CEPIS). Serie Técnica (24). Lima, Perú. Consultado el 25 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/012837/012837.htm>
- [12] Sáenz, F. R. (1987), Predicción en la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización. Hojas de Divulgación Técnica. (OMS/CEPIS) Consultado el 30 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt038.html>