

## Método de diseño reducido para lagunas de estabilización\*

### Reduced design method for stabilization lagoons

Alejandro Treviño Cansino<sup>1</sup> y Facundo Cortés Martínez<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del estado de Durango. Campus Gómez Palacio, Durango. (atrevino@ujed.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia. facundo\_cm@yahoo.com.mx.

#### Resumen

En México las lagunas de estabilización representan 40% de las plantas de tratamiento, de las cuales la mayoría operan con un caudal menor o igual a 5 L/s. Debido a que son plantas pequeñas, son vulnerables a presentar deficiencias en el diseño y en la operación. El artículo presenta un método reducido para el diseño y revisión de lagunas de estabilización, con base en 11 ecuaciones. El criterio considerado para la obtención de las expresiones fue incluir las variables de profundidad y evaporación como constantes, además se determinaron 4 factores en función de la temperatura. Los resultados del método reducido son similares al tradicional. Se recomienda continuar con el desarrollo del método reducido considerando el uso de deflectores o canales.

**Palabras clave:** aguas residuales, lagunas de estabilización, método reducido, tiempo de retención.

#### Introducción

Las lagunas de estabilización comparadas con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, son una opción viable cuando se cuenta con la disponibilidad del terreno, son eficientes en la remoción de la materia orgánica también

#### Abstract

In Mexico stabilization lagoons represent 40% of treatment plants, most of which operate with lower or equal flow at 5 L/s. Because they are small plants, they are vulnerable to be deficient in design and operation. The article presents a reduced price for the design and review of stabilization lagoons, based in 11 equations method. The criterion considered for obtaining was expressions include variables as constant depth and evaporation also four factors were determined as a function of temperature. Reduced results are similar to the traditional method. It is recommended to continue the development of the method reduced considering the use of baffles or channels.

**Keywords:** reduced method, retention time, wastewater stabilization lagoons.

#### Introduction

Stabilization lagoons compared with other systems, wastewater treatment, they are a viable option when it has the availability of land, are efficient in removing organic matter also called biochemical oxygen demand (BOD), phosphorus, nitrogen and fecal coliforms. The latter are

\* Recibido: enero de 2016  
Aceptado: abril de 2016

llamada demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo, nitrógeno y coliformes fecales. Éstos últimos son transmisores de enfermedades tales como: hepatitis infecciosa, cólera, tifoidea entre otras importantes (Heredia, 1985; CNA e IMTA, 2007a). La configuración de los sistemas lagunares se refiere a la combinación de diferentes tipos de lagunas, éstas pueden ser: anaerobias, facultativas y de maduración o pulimiento. Por ejemplo: puede incluirse en el diseño una sola laguna (la facultativa), también pueden considerarse dos: facultativa y maduración. Según Rolim (2000) el arreglo de lagunas más completo es de tres: anaerobia, facultativa y maduración. La calidad del agua residual en el efluente debe cumplir siempre con los límites máximos permitidos que indica la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996).

El método de diseño para sistemas lagunares adoptada para México, por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) es extensa, ya que considera 23 ecuaciones, además el proceso de diseño en la laguna de maduración, es iterativo; es decir, se propone un tiempo de retención hidráulico y luego se verifica la concentración de coliformes fecales en el efluente del sistema, hasta que se cumpla con los límites que indica la normatividad. Debido a lo indicado es recomendable analizar el método con el propósito de disminuir el número de ecuaciones; de manera de obtener resultados similares pero con menos expresiones. La principal desventaja de los sistemas de tratamiento de lagunas de estabilización es el gran requerimiento del terreno (Wood *et al.*, 1995; Agunwamba, 2001; Mara, 2004; Kaya *et al.*, 2007; Naddafi *et al.*, 2009). Según Mara (2001); Mara (2004); Agunwamba *et al.* (2003); Hamzeh y Ponce (2007) la temperatura así como la radiación solar favorecen el adecuado tratamiento de las aguas residuales en los sistemas lagunares.

Autores como Agunwamba (1991); Gugesharajah (2001); U.S. EPA, (2002); Lloyd *et al.* (2003) y Mara (2004) llevaron a cabo estudios en sistemas lagunares: concluyeron que el agua residual es purificada por actividad de bacterias y algas. Luego Peña *et al.* (2003); Mara (2001) y Mara (2004) realizaron pruebas en laboratorio: incluyeron diferentes relaciones de largo-ancho y determinaron que las lagunas, con una relación largo ancho grande, resultaron con mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes.

Según Mangelson y Watters (1972) y Lloyd *et al.* (2003) en los sistemas lagunares se presentan cortocircuitos hidráulicos; es decir, estancamientos de agua residual, por lo que el tiempo de retención calculado en el método no se

transmisores de enfermedades such as infectious hepatitis, cholera, typhoid and other important (Heredia, 1985; CNA and IMTA, 2007a). The configuration of the lagoon systems relates to the combination of different types of gaps, they can be: anaerobic, facultative and maturation or polishing. For example, you can include in the design one pond (the optional) can also be considered as two: facultative and maturation. According Rolim (2000) the most complete array is three lagoons: anaerobic, facultative and maturation. The quality of wastewater in the effluent must always comply with the maximum permissible limits indicates the NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996).

The design method for lagoon systems adopted for Mexico, the National Water Commission (CNA) and the Mexican Institute of Water Technology (IMTA) is extensive, as it believes 23 equations, plus the design process in the maturation pond it is iterative; i.e. it proposes a hydraulic retention time and then the concentration of fecal coliform in the effluent system is verified, until it meets the limits indicated by the regulations. Because indicated it is advisable to test the method in order to reduce the number of equations; so as to obtain similar results but with less expressions. The main disadvantage of treatment systems stabilization lagoons is the great requirement terrain (Wood *et al.*, 1995; Agunwamba, 2001; Mara, 2004; Kaya *et al.*, 2007; Naddafi *et al.*, 2009). According Mara (2001); Mara (2004); Agunwamba *et al.* (2003); Hamzeh and Ponce (2007) temperature and solar radiation promote proper treatment of wastewater in the lagoon systems.

Authors like Agunwamba (1991); Gugesharajah (2001); U.S. EPA, (2002); Lloyd *et al.* (2003) and Mara (2004) conducted studies in lagoon systems: concluded that wastewater is purified by activity of bacteria and algae. Then Peña *et al.* (2003); Mara (2001) and Mara (2004) conducted laboratory tests: included different length-width ratios and determined that the lakes with a large wide long relationship, were more efficient at removing contaminants.

According Mangelson and Watters (1972) and Lloyd *et al.* (2003) in the lagoon systems hydraulic shorts are presented; i.e. residual water stagnations, so the holding time calculated in method is not adequately performed. Later Band (2007) found that the efficiency of facultative lagoons may be affected by the thermal stratification and wind speed. According to Olukanni (2011) design methods currently applied are based on the maximum load per unit area. There is a simplified design method lagoon systems: Collí *et al.*

realiza adecuadamente. Más tarde Banda (2007) determinó que la eficiencia de las lagunas facultativas pueden ser afectadas por la termo-estratificación y la velocidad del viento. De acuerdo con Olukanni (2011) los métodos de diseño que se aplican actualmente están basados en la carga máxima por unidad de área. Existe un método simplificado para el diseño de sistemas lagunares: Collí *et al.* (1992). El citado manual incluye, en términos generales, la calidad del agua residual en el influente, procedimiento de diseño, aspectos de construcción, operación y mantenimiento.

Según Noyola *et al.* (2012), la tecnología más utilizada para el tratamiento de las aguas residuales en México es de lagunas de estabilización, con 40% de las plantas. Además que la mayoría de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (60%) operan con flujos iguales o menores a 5 L/s y se clasifican como plantas pequeñas. Lo anterior afirma lo mencionado por Oliveira y Von Sperling (2011), el cual menciona que la causa principal por la cual las plantas de tratamiento no cumplen con los estándares de calidad es la deficiencia en el diseño así como en la operación.

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar una método reducido del tradicional para el diseño de un sistema lagunar con 2 estanques (facultativa y maduración). Utilizando un análisis matemático que consiste en tomar como constantes las variables que se relacionan con la temperatura, luego sustituir las variables mencionadas, en las fórmulas del método tradicional de diseño. La aportación del presente estudio es proporcionar una herramienta de cálculo simple, que pueda aplicarse al tratamiento de aguas residuales a pequeñas comunidades en una región con las mismas características ambientales. Es además, una extensión del método simplificado de diseño publicado por Collí *et al.* (1992).

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 1 se describe la nomenclatura apropiada y el método de diseño tradicional. La sección 2 incluye el desarrollo matemático para determinar el método de diseño reducido para sistemas lagunares, se incluye un resumen de las fórmulas. La sección 3 muestra un ejemplo de aplicación, tanto con el método tradicional de diseño como con el método reducido. En la sección 4: las conclusiones.

El método tradicional considera en el diseño básicamente, la eliminación de la materia orgánica, nitrógeno y fósforo entre otros parámetros, además de los coliformes fecales y huevos del Helminto. El método fue consultado en el texto: (CNA e IMTA, 2007a).

(1992). The manual cited includes, in general terms, the quality of wastewater influent, process design aspects of construction, operation and maintenance.

According Noyolas *et al.* (2012), the most widely used to treat wastewater in Mexico technology is stabilization lagoons, with 40% of the plants. Besides that most treatment facilities wastewater (60%) operate with equal flows or less than 5 L/s and are classified as small plants. This states mentioned by Oliveira and von Sperling (2011), which mentions that the main reason why the treatment plants do not meet quality standards is the deficiency in the design and in the operation.

The objectives of this study were to determine a reduced traditional method for designing a lagoon system with 2 ponds (facultative and maturation). Using a mathematical analysis that involves taking as constant variables that are related to temperature, then replace the variables mentioned in the formulas of traditional design method. The contribution of this study is to provide a simple calculation tool that can be applied to wastewater treatment for small communities in a region with the same environmental characteristics. It is also an extension of the simplified design method published by Collí *et al.* (1992).

The paper is organized as follows: section 1, the appropriate nomenclature and the traditional design method is described. Section 2 includes the mathematical development to determine the reduced design method for lagoon systems, a summary of formulas is included. Section 3 shows an example of application, both in the traditional design method as the method reduced. Section 4: conclusions.

The traditional method considered in the design basically removing organic matter, nitrogen and phosphorus, among other parameters, in addition to fecal coliforms and helminth eggs. The method was consulted in the text: (CNA and IMTA, 2007a).

## Nomenclature

C.O.= organic load;  $Q_i$ = flow in the influent of the pond ( $m^3/day$ );  $DBO_i$ = concentration of biochemical oxygen demand in the influent; (mg/L); 1 000= conversion factor;  $\lambda v$ = surface organic load ( $gDBO_5/m_3-day$ ); T= minimum temperature monthly average of air ( $^{\circ}C$ );  $Li$ = concentration of  $DBO_5$  in the influent of the lagoon (mg/L);  $A_f$ = area of the facultative pond in ( $m^2$ );  $Q_{med}$ = influent flow in ( $m^3/$

## Nomenclatura

C.O.= carga orgánica;  $Q_i$ = caudal en el influente de la laguna ( $m^3/día$ );  $DBO_i$ = concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el influente; en ( $mg/L$ ); 1 000= factor de conversión;  $\lambda_s$ = carga orgánica superficial ( $gDBO_5/m_3-día$ );  $T$ = temperatura mínima media mensual del aire ( $°C$ );  $L_i$ = concentración de  $DBO_5$  en el influente de la laguna ( $mg/L$ );  $A_f$ = área de la laguna facultativa en ( $m^2$ );  $Q_{med}$ = caudal en el influente en ( $m^3/día$ );  $Z$ = profundidad en (m);  $V$ = volumen en ( $m^3$ );  $O_F$ = tiempo medio de retención hidráulico laguna facultativa (días);  $X$ = relación entre longitud y anchura;  $B_{Prom}$ = ancho promedio de la laguna en (m);  $L_{Prom}$ = longitud promedio en (m);  $B_{Sup}$ = ancho superior (m); talud= relación de bordos 2:1;  $L_{Sup}$ = largo superior de la laguna (m);  $A_{Sup}$ = área superficial en ( $m^2$ );  $Q_e$ = caudal en el efluente de la laguna ( $m^3/día$ );  $e$ = evaporación ( $mm/día$ );  $d$ = factor de dispersión adimensional;  $K_b$ = coeficiente de reducción bacteriana ( $d^{-1}$ );  $a$ = constante adimensional;  $N_i$ = coliformes fecales en el efluente de la laguna (NMP/100 mL).  $N_f/N_o$ = número de coliformes fecales en el efluente (NMP/100 mL);  $e = 2.7182818$ ;  $N_e$ = coliformes fecales corregido por evaporación en el influente de la laguna (NMP/100 mL);  $K_f$ = constante de decaimiento a una temperatura en cualquiera ( $día^{-1}$ );  $DBO_{ef}$ = concentración de la  $DBO_5$  en el efluente ( $mg/L$ );  $DBO_e$ = concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna corregida por evaporación ( $mg / L$ );  $O$ = tiempo de retención hidráulico en laguna de maduración (días).

Diseño de laguna facultativa (flujo disperso. Método de Yáñez)

$$a) \text{ Carga orgánica: } C.O. = Q_i(DBO_i)/100 \quad 1)$$

$$b) \text{ Carga superficial de diseño: } \lambda_s = 250(1.085)^{T-20} \quad 2)$$

$$c) \text{ Área de la laguna facultativa: } A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s \quad 3)$$

$$d) \text{ Volumen de la laguna: } V = (A_f)(Z) \quad 4)$$

$$e) \text{ Tiempo Medio de retención hidráulico: } O_F = V/Q_i \quad 5)$$

f) Dimensionamiento. Relación largo ancho  $X = 3$ :

$$B_{Prom} = \sqrt{\frac{A_f}{X}} \quad 6)$$

$$L_{Prom} = \frac{A_f}{B_{Prom}} \quad 7)$$

day);  $Z$ = depth (m);  $V$ = volume ( $m^3$ );  $O_F$ = mean hydraulic retention time facultative lagoon (days);  $X$ = ratio between length and width;  $B_{Prom}$ = average width of the gap in (m);  $L_{Prom}$ = average length (m);  $B_{Sup}$ = top width (m); levee slope= ratio of 2: 1;  $L_{Sup}$ = long top of the lagoon (m);  $A_{Sup}$ = surface area ( $m^2$ );  $Q_e$ = flow in the effluent of the pond ( $m^3/day$ );  $e$ = evaporation ( $mm/day$ );  $d$ = factor dispersion dimensionless;  $K_b$ = bacterial reduction coefficient ( $d^{-1}$ );  $a$ = constant dimensionless;  $N_i$ = fecal coliforms in the effluent from the lagoon (NMP/100 mL).  $N_f/N_o$ = number of fecal coliform in the effluent (NMP/100 mL);  $e = 2.7182818$ ;  $N_e$ = corrected by evaporation fecal coliforms in the influent of the lagoon (NMP/100 mL);  $K_f$ = decay constant at a temperature in either ( $day^{-1}$ );  $DBO_{ef}$ = concentration of  $DBO_5$  in the effluent ( $mg/L$ );  $DBO_e$ = concentration of  $DBO_5$  in the effluent from the lagoon corrected by evaporation ( $mg/L$ );  $O$  = hydraulic retention time in maturation pond (days).

Design facultative pond (dispersed flow. Method Yáñez)

$$a) \text{ Organic load: } C.O. = Q_i(DBO_i)/100 \quad 1)$$

$$b) \text{ Surface design load: } \lambda_s = 250(1.085)^{T-20} \quad 2)$$

$$c) \text{ Facultative lagoon area: } A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s \quad 3)$$

$$d) \text{ Volume of the lagoon: } V = (A_f)(Z) \quad 4)$$

$$e) \text{ Middle hydraulic retention time: } O_F = V/Q_i \quad 5)$$

f) Dimensioning. Length width ratio  $X = 3$ :

$$B_{Prom} = \sqrt{\frac{A_f}{X}} \quad 6)$$

$$L_{Prom} = \frac{A_f}{B_{Prom}} \quad 7)$$

$$g) \text{ For the width and length: } B_{Sup} = B_{Prom} + (Z)(\text{Talud}) \quad 8)$$

$$L_{Sup} = L_{Prom} + (Z)(\text{Talud}) \quad 9)$$

$$h) \text{ Calculation of surface area: } A_{Sup} = (B_{Sup})(L_{Sup}) \quad 10)$$

$$i) \text{ Expenditure in the effluent: } Q_e = Q_i - 0.001A_{Sup}e \quad 11)$$

j) Removal of fecal coliforms: Considering screens with length 0.70 length of the lagoon have:

$$X = \frac{(L_{Prom})(0.70)(N_{MampF} + 1)}{B_{Prom}/(N_{MampF} + 1)} \quad 12)$$

g) Para el ancho y largo:  $B_{Sup} = B_{Prom} + (Z)(Talud)$  8)

$L_{Sup} = L_{Prom} + (Z)(Talud)$  9)

h) Cálculo del área superficial:  $A_{Sup} = (B_{Sup})(L_{Sup})$  10)

i) Gasto en el efluente:  $Q_c = Q_i - 0.001A_{Sup}e$  11)

j) Remoción de coliformes fecales: Considerando mamparas con longitud de 0.70 del largo de la laguna se tiene que:

$$X = \frac{(L_{Prom})(0.70)(N_{MampF} + 1)}{B_{Prom}/(N_{MampF} + 1)} \quad 12)$$

Para el caso del presente estudio no se considerarán mamparas por lo que la relación largo ancho  $X = 3$

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392(X) + 1.0136(X)^2} \quad 13)$$

k) Coeficiente de reducción bacteriana:

$$K_b = 0.841(1.075)^{T-20} \quad 14)$$

l) Constante "a". Se determina a través de la fórmula:

$$a = \sqrt{1 + 4K_b O_F d} \quad 15)$$

m) Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa.

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} N_i \quad 16)$$

n) Coliformes fecales corregidos por evaporación.

$$N_e = (N_f/N_o)(Q_i)/Q_c \quad 17)$$

o) Constante de decaimiento a temperatura en cualquiera día:

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1.085)^{35-T}} \quad 18)$$

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

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_i}{K_f O_F + 1} \quad 19)$$

q) Eficiencia de remoción de la DBO:

$$\% = \frac{DBO_i - DBO_e}{DBO_i} \times 100 \quad 20)$$

In the case of this study will not be considered screens so long width ratio  $X = 3$

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392(X) + 1.0136(X)^2} \quad 13)$$

k) Coefficient of bacterial reduction:

$$K_b = 0.841(1.075)^{T-20} \quad 14)$$

l) Constant "a". It is determined by the formula:

$$a = \sqrt{1 + 4K_b O_F d} \quad 15)$$

m) Fecal coliforms in the effluent from the facultative pond.

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} N_i \quad 16)$$

n) Fecal coliforms corrected by evaporation:

$$N_e = (N_f/N_o)(Q_i)/Q_c \quad 17)$$

o) Decay constant temperature in any day:

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1.085)^{35-T}} \quad 18)$$

p) Concentration of biochemical oxygen demand in the effluent from the lagoon

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_i}{K_f O_F + 1} \quad 19)$$

q) Removal efficiency of DBO:

$$\% = \frac{DBO_i - DBO_e}{DBO_i} \times 100 \quad 20)$$

r) DBO corrected by evaporation:

$$DBO_e = (DBO_i)(Q_i)/Q_c \quad 21)$$

Laguna maturation (dispersed flow method)

1) Hydraulic retention time (O)

2) Volume of the lagoon

$$V = (Q_i)(O) \quad 22)$$

3) Area lagoon

$$A = \frac{V}{Z} \quad 23)$$

r) DBO corregida por evaporación:

$$DBO_e = (DBO_i)(Q_i)/Q_e \quad (21)$$

Laguna de maduración (método flujo disperso)

1) Tiempo de retención hidráulico (O)

2) Volumen de la laguna

$$V = (Q_i)(O) \quad (22)$$

3) Área de la laguna

$$A = \frac{V}{Z} \quad (23)$$

Para concluir con el diseño de la laguna de maduración, se continua con los incisos: f) hasta p) que se indican en el método del estanque facultativo.

### Método simplificado propuesto para el diseño de lagunas facultativas

Para iniciar el diseño de una laguna facultativa, se deben calcular diferentes datos previos antes de obtener resultados del dimensionamiento y los requerimientos de calidad del agua en el efluente.

Por ejemplo el volumen: para obtenerlo, se sustituye la carga superficial de diseño (expresión 2) en la fórmula del área (ecuación 3) y ésta a su vez, se sustituye en la fórmula del volumen (4). Después se procede a separar los datos que dependen de la temperatura como la carga superficial de diseño (expresión 2). También se fijan los valores de la profundidad y la DBO.

$$V = Q_i \left[ \frac{zDBO_i 10}{\lambda_s} \right] \quad (24)$$

La carga superficial, que depende de la temperatura, y todos los datos conocidos como la profundidad  $Z=1.5$  m y la  $DBO=220$  mg/L. Se sustituyen por un factor Beta ( $\beta$ ): expresión 25.

$$\beta = \left[ \frac{zDBO_i 10}{\lambda_s} \right] \quad (25)$$

Donde: Beta es un factor de ayuda para simplificar la expresión como se muestra a continuación:

$$V = \beta Q_i \quad (26)$$

To conclude with the design of the maturation lagoon, we continue with subparagraphs f) to p) indicated in the method of facultative pond.

### Simplified method proposed for the design of facultative lagoons

To start designing a facultative pond, calculate different previous data before results of sizing and quality requirements in the effluent water.

For example the volume: to obtain, surface design load (expression 2) in the area formula (equation 3) is replaced and this in turn is replaced in the volume formula (4). Then is separated from the data depending on the temperature and surface design load (expression 2). The values of depth and DBO are also set.

$$V = Q_i \left[ \frac{zDBO_i 10}{\lambda_s} \right] \quad (24)$$

The surface charge which depends on temperature, and all data known as depth  $Z=1.5$  m and  $DBO=220$  mg/L. They are replaced by a factor Beta ( $\beta$ ): expression 25.

$$\beta = \left[ \frac{zDBO_i 10}{\lambda_s} \right] \quad (25)$$

Where: Beta is a factor helps to simplify the expression as shown below:

$$V = \beta Q_i \quad (26)$$

The expression is then obtained to calculate the average area, dividing the volume (expression 26) between the depths (Z). Then equation (27) is determined.

$$A_{\text{promedio}} = \frac{\beta Q_i}{Z} \quad (27)$$

Is considered long relationship constant width  $X=3$ . To determine the upper width of the facultative pond expression (27) is substituted into (6) and the horizontal distance representing the slope is added.

After separating Beta ( $\beta$ ) and the known data:  $X=3$  and  $Z=1.5$  m, are replaced by a factor which is called Epsilon ( $\epsilon$ ) where the expression (28) is obtained.

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\beta}{zX}} \quad (28)$$

Luego se obtiene la expresión para calcular el área promedio, dividiendo el volumen (expresión 26) entre la profundidad (Z). Enseguida se determina la ecuación (27).

$$A_{\text{promedio}} = \frac{\beta Q_i}{Z} \quad (27)$$

Se considera como constante la relación largo ancho  $X=3$ . Para determinar el ancho superior de la laguna facultativa se sustituye la expresión (27) en la (6) y se agrega la distancia horizontal que representa el talud.

Después de separar Beta ( $\beta$ ) y los datos conocidos:  $X=3$  y  $Z=1.5$  m, se sustituyen por un factor que se llamará Épsilon ( $\varepsilon$ ) donde se obtiene la expresión (28)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\beta}{zX}} \quad (28)$$

Épsilon es un factor dependiente de la temperatura, que simplifica la fórmula (28) y se obtiene como resultado la expresión (29):

$$B_{\text{Superior}} = \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente} \quad (29)$$

Para determinar el largo superior del estanque facultativo, se multiplica la relación largo ancho  $X=3$  por el ancho promedio y se suma la distancia horizontal del talud:

$$L_{\text{Superior}} = 3 \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente} \quad (30)$$

Para el efluente en la laguna se sustituye las fórmulas (29) y (30) en la fórmula (11) y se obtiene la expresión (31):

$$Q_e = Q_i(1 - 0.005\beta/z) - 0.03\varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.01125 * \text{pendiente}^2 \quad (31)$$

Se separan los factores que dependen de la temperatura y las constantes, éstas se sustituyen por omega ( $\omega$ ) y se obtiene la ecuación (32).

$$\omega = (1 - 0.005 \beta/z) \quad (32)$$

Donde: omega es utilizado para simplificar la fórmula (31), entonces resulta:

$$Q_e = \omega Q_i - 0.03\varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.01125 * \text{pendiente}^2 \quad (33)$$

Enseguida se sustituye la fórmula (26) en la (5) para obtener el tiempo de retención:

$$\begin{aligned} O_F &= V/Q_i = \beta Q_i / Q_i \\ O_F &= \beta \end{aligned} \quad (34)$$

Epsilon is a temperature dependent factor that simplifies the formula (28) and is obtained as a result the expression (29):

$$B_{\text{Superior}} = \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente} \quad (29)$$

To determine the long top facultative pond, the wide long relationship  $X=3$  by the average width is multiplied and the horizontal distance slope adds:

$$L_{\text{Superior}} = 3 \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente} \quad (30)$$

To the effluent in the lagoon formulas (29) and is replaced (30) in formula (11) and expression (31) is obtained:

$$Q_e = Q_i(1 - 0.005\beta/z) - 0.03\varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.01125 * \text{pendiente}^2 \quad (31)$$

Factors dependent on temperature and the constant are separated by these omega ( $\omega$ ) are replaced and equation (32) is obtained.

$$\omega = (1 - 0.005 \beta/z) \quad (32)$$

Where: omega is used to simplify the formula (31) then becomes:

$$Q_e = \omega Q_i - 0.03\varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.01125 * \text{pendiente}^2$$

Then the formula (26) is substituted into (5) for retention time:

$$\begin{aligned} O_F &= V/Q_i = \beta Q_i / Q_i \\ O_F &= \beta \end{aligned} \quad (34)$$

For the number of fecal coliform in the effluent (Formula 16), it is considered the following:

$$\frac{N_f}{N_o} = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] N_i = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] N_i$$

Constants and factors are temperature dependent and width to length ratio and d as separate, they are replaced by  $F_i$  ( $\varphi$ ) expression (33). Where  $F_i$  is a need to reduce the spread factor of the equation, and is:

$$\varphi = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] \quad (35)$$

$F_i$  is substituted into the above expression and corrected by evaporation ( $Q_i/Q_e$ ), is obtained:

Para el número de coliformes fecales en el efluente (fórmula 16), se considera lo siguiente:

$$\frac{N_f}{N_o} = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] N_i = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] N_i$$

Se separan las constantes y los factores que dependen de la temperatura y la relación largo ancho como  $a$  y  $d$ , éstas se sustituyen por  $F_i$  ( $\phi$ ) expresión (33). Donde  $F_i$  es un factor necesario para reducir la extensión de la ecuación, y resulta:

$$\phi = \left[ \frac{4ae^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} \right] \quad (35)$$

Se sustituye  $F_i$  en la expresión anterior y se corrige por evaporación ( $Q_i/Q_e$ ), se obtiene:

$$\frac{N_f}{N_o} = \phi N_i \left[ \frac{Q_i}{Q_e} \right] \quad (36)$$

La expresión de la  $DBO_5$  (18) se simplifica separando sus factores y calculándose por separado, también en función de la temperatura. Lo indicado se expresa como una constante  $\tau$  ( $\tau$ ):

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{KfO + 1} = \left[ \frac{1}{KfO + 1} \right] DBO_i$$

$$\tau = \left[ \frac{1}{KfO + 1} \right] \quad (37)$$

Resulta:

$$DBO_e = \tau DBO_i \quad (38)$$

La expresión anterior, al igual que para los coliformes fecales, se corrige por evaporación (se multiplica por:  $Q_i/Q_e$ ). Se obtiene:

$$DBO_e = \tau DBO_i \left[ \frac{Q_i}{Q_e} \right] \quad (39)$$

Enseguida en el Cuadro 1 se indica el resumen de las ecuaciones obtenidas con el criterio del método reducido, para el diseño de la laguna facultativa.

$$\frac{N_f}{N_o} = \phi N_i \left[ \frac{Q_i}{Q_e} \right] \quad (36)$$

The  $BOD_5$  expression (18) is simplified by separating its factors and calculated separately, also depending on temperature. Indicated is expressed as a constant  $\tau$  ( $\tau$ ):

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{KfO + 1} = \left[ \frac{1}{KfO + 1} \right] DBO_i$$

$$\tau = \left[ \frac{1}{KfO + 1} \right] \quad (37)$$

Result:

$$DBO_e = \tau DBO_i \quad (38)$$

The above expression, like for fecal coliforms, corrected for evaporation (multiply by:  $Q_i/Q_e$ ). Is obtained:

$$DBO_e = \tau DBO_i \left[ \frac{Q_i}{Q_e} \right] \quad (39)$$

Immediately in Table 1 summarize the equations obtained with reduced criterion for the design of the facultative pond method is indicated.

### Simplified method proposed for the design of polishing lagoons

The same procedure that was included for the facultative pond, but with some differences as depth is used: 1.5 instead of 1.0 m will be used. According Rolim (2000) considered deep in facultative lagoons are 1.5 to 2.5 meters. These lagoons work based on bacteria, algae and sunlight for photosynthesis; while maturation lagoons are designed with less depth: 0.6 to 1 m, in order to allow greater income from ultraviolet rays, for removal of fecal coliforms. In sizing the maturation pond beta value (retention time) it is proposed; ie it is an iterative system. The process stops when it meets the pollutant concentration values indicating the regulations. For the width and length above we have:

Top width

$$B_{Superior} = \epsilon \sqrt{Q_i} + \text{pendiente} \quad (40)$$



**Cuadro 1. Resumen de fórmulas por el método reducido de diseño para laguna facultativa.**  
**Table 1. Summary of formulas for the method reduced design for facultative lagoon.**

Nombre	Fórmulas
Volumen	$V = \beta Q_i$
Área superficial	$B_{superior} * L_{superior}$
Ancho superior	$B_{Superior} = \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente}$
Longitud superior	$L_{Superior} = 3 \varepsilon \sqrt{Q_i} + 1.5 * \text{pendiente}$
Gasto en el efluente	$Q_e = \omega Q_i - 0.03 \varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.01125 * \text{pendiente}^2$
Tiempo de retención hidráulico	$O_F = \beta$
Número de coliformes fecales corregidos por evaporación	$\frac{N_f}{N_o} = \varphi N_i \left( \frac{Q_i}{Q_e} \right)$
DBO en el efluente corregidos por evaporación	$DBO_e = \tau DBO_i \left( \frac{Q_i}{Q_e} \right)$

### Método simplificado propuesto para el diseño de lagunas de maduración.

Se utilizará el mismo procedimiento que fue incluido para la laguna facultativa, aunque con algunas diferencias como la profundidad: en lugar de 1.5 m se usará 1.0. Según Rolim (2000) las profundidades consideradas en lagunas facultativas son de 1.5 a 2.5 metros. Estas lagunas trabajan en función de bacterias, algas y con la luz solar para la fotosíntesis; mientras que las lagunas de maduración se diseñan con menor profundidad: de 0.6 a 1m, con el objetivo de permitir mayor ingreso de los rayos ultravioleta, para la eliminación de los coliformes fecales. En el dimensionamiento de la laguna de maduración el valor de beta (tiempo de retención) se propone; es decir, es un sistema iterativo. El proceso se detiene cuando se cumple con los valores de concentración de contaminantes que indica la normatividad. Para el ancho y longitud superior se tiene:

Ancho superior

$$B_{Superior} = \varepsilon \sqrt{Q_i} + \text{pendiente} \quad 40)$$

Longitud superior

$$L_{Superior} = 3 \varepsilon \sqrt{Q_i} + \text{pendiente} \quad 41)$$

Gasto en el efluente.

$$Q_e = \omega Q_i - 0.02 \varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.005 * \text{pendiente}^2 \quad 42)$$

Top length

$$L_{Superior} = 3 \varepsilon \sqrt{Q_i} + \text{pendiente} \quad 41)$$

Expenditure in the effluent.

$$Q_e = \omega Q_i - 0.02 \varepsilon \sqrt{Q_i} * \text{pendiente} - 0.005 * \text{pendiente}^2 \quad 42)$$

To carry out the simplified design is necessary to calculate a table of factors  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  and  $\tau$  (equations 25, 28, 32, 35 and 37).

You need to design a lagoon system for treating wastewater from a rural community. Population the project horizon= 1 300. A contribution is considered of 154 L/person/day (CNA and IMTA, 2007a). Therefore, the design flow is 200.2 m<sup>3</sup>/day. The temperature of the coldest month is 11.8°C (CNA and IMTA, 2007b); the number of fecal coliforms in the influent is 10 000 000 00 NMP/100ml, and DBO<sub>i</sub> = 220 mg/L (Metcalf and Eddy, 1991). The maximum values of contaminants mentioned regulations are: for biochemical oxygen demand (DBO) 75 mg/L, fecal coliforms 1,000 NMP/100 mL.

## Results and discussion

In the Table 2 shows the results observed using the traditional method: the biochemical oxygen demand (DBO) and fecal coliforms in the effluent from the maturation pond. These values were consistent with stated in the regulations (DOF, 1996).

Para llevar a cabo el diseño simplificado es necesario calcular una tabla con los factores  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\omega$ ,  $\phi$  y  $\tau$  (ecuaciones 25, 28, 32, 35 y 37).

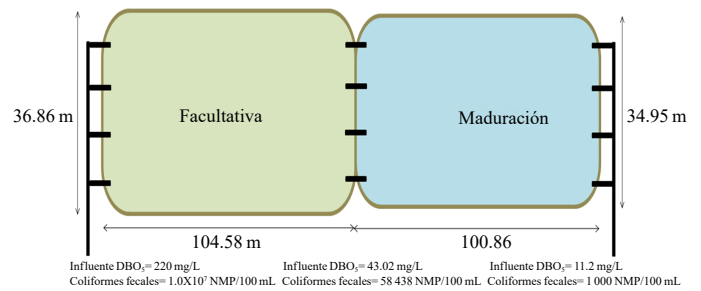
Se necesita diseñar un sistema lagunar para el tratamiento de aguas residuales de una comunidad rural. Número de habitantes al horizonte de proyecto= 1 300. Se considera una aportación de 154 L/hab/día (CNA e IMTA, 2007a). Por lo tanto, el gasto de diseño es de 200.2 m<sup>3</sup>/día. La temperatura del mes más frío es de 11.8 °C (CNA e IMTA, 2007b); el número de coliformes fecales en el influente es de 10 000 000 NMP/100ml, y la DBO<sub>i</sub>= 220 mg/L (Metcalf and Eddy, 1991). Los valores máximos de contaminantes que menciona la normatividad son: para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 75 mg/L, coliformes fecales 1 000 NMP/100 mL.

### Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se observan los resultados obtenidos aplicando el método tradicional: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales en el efluente de la laguna de maduración. Éstos resultaron con valores acorde con lo indicado en la normatividad (DOF, 1996).

En la Figura 1 se muestran las medidas del sistema de lagunas de estabilización con base en los resultados que se muestran en el Cuadro 2.

In Figure 1 the measures of stabilization lagoons system based on the results shown in Table 2 are shown.



**Figura 1. Dimensiones del sistema de lagunas con el método tradicional** (fuente: aportación de los autores).

**Figure 1. Dimensions of the lagoon system with the traditional method** (source: contribution of the authors).

### Application of simplified method of designing a facultative pond

The temperature of the coldest month is included with decimals design data: 11.8. Therefore, we proceed to calculate certain factors  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\omega$ ,  $\phi$  and  $\tau$ . Determined in expressions (25, 28, 32, 35 and 37). Table 3 shows the factors calculated and shown.

Then applying the simplified 8 equations for the design of a facultative pond indicated in Table 1 method, we obtain:

$$V = (25.769013)(200.2) = 5\,158.96\text{ m}^3$$

**Cuadro 2. Resultados de diseño del sistema lagunar: facultativa y maduración con el método tradicional.**

**Table 2. Results of the lagoon system design: facultative and maturation with the traditional method.**

Tipo de laguna	Población de proyecto (Hab)	Gasto de diseño (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> en el influente (mg/L)	Coliformes fecales inf. (NMP/100mL)	Carga orgánica (Kg/día)	Carga sup. de diseño (Kg/hab/día)	Prof. Z (m)	Volumen laguna (m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención (d)
Facultativa	1 300	200.20	220	10 000 000	44.04	128	1.5	5 158.96	25.77
Maduración		180.93	43	58,438			1.0	3 258.49	18.01

Gasto efluente (m <sup>3</sup> /día)	% de remoción DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub> en el efluente (mg/L)	Coliformes fecales inf. (NMP/100mL)	Área prom. laguna (m <sup>2</sup> )	Relación largo-ancho	B. prom. (m)	L. prom. (m)
180.93	82.33	43	58 438	3 439	3	33.86	101.58
163.30	76.51	11	1000	3,258			98.86

B. sup. (m)	L. sup. (m)	Área superficial (m <sup>2</sup> )	B. inf. (m)	L. inf. (m)
36.86	104.58	3 855	30.86	98.58
34.95	100.86	3 526	30.95	96.87

**Aplicación del método simplificado de diseño de una laguna facultativa**

En los datos de diseño se incluye la temperatura del mes más frío con decimales: 11.8. Por lo tanto, se procede a calcular los factores  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $\omega$ ,  $\phi$  y  $\tau$  Determinados en las expresiones (25, 28, 32, 35 y 37). En el Cuadro 3 se muestran los factores ya calculados.

**Cuadro 3. Factores calculados en función de la temperatura para laguna facultativa.**  
**Table 3. Factors calculated depending on the temperature facultative lagoon.**

$\beta$	$\epsilon$	$\omega$	$\phi$	$\tau$
25.769013	2.39299965	0.91410329	0.00528124	0.17670417

Luego aplicando las 8 ecuaciones del método simplificado para el diseño de una laguna facultativa que se indican en el Cuadro 1, se obtiene:

$$V = (25.769013)(200.2) = 5,158.96 \text{ m}^3$$

$$B_{\text{Superior}} = (2.39299965)\sqrt{200.2} + 1.5(2) = 36.86 \text{ m}$$

$$L_{\text{Superior}} = 3(2.39299965)\sqrt{200.2} + 1.5(2) = 104.58 \text{ m}$$

$$A_{\text{Superficial}} = (36.86)(104.58) = 3,854.82 \text{ m}^2$$

$$Q_e = (0.91410329)(200.2) - 0.03(2.39299965)\sqrt{200.2} (2) - 0.01125(2)^2 = 180.93 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$O_F = 25.769013 \text{ días}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = (0.00528124)(10,000,000) \left( \frac{200.2}{180.93} \right) = 58,438 \text{ NMP}/100\text{mL}$$

$$\text{DBO}_e = (0.17670417)(220) \left( \frac{200.2}{180.93} \right) = 43 \text{ mg/L}$$

Como ya se indicó para la laguna de maduración se propone el tiempo de retención y se calculan los factores  $\epsilon$ ,  $\omega$ ,  $\phi$  y  $\tau$ . En el Cuadro 4 se muestran los valores calculados.

**Cuadro 4. Factores calculados en función de la temperatura para la laguna de maduración.**  
**Table 4. Factors calculated depending on the temperature for maturation lagoon.**

Tiempo de retención en días	$\epsilon$	$\omega$	$\phi$	$\tau$
18.01	2.45008308	0.90995639	0.01544468	0.23495835

Los datos de entrada para el diseño de la laguna de maduración son los siguientes: coliformes fecales corregidos por evaporación en el efluente de la laguna facultativa: 58,438 NMP/100 mL., la DBO también en el efluente 43

$$B_{\text{Superior}} = (2.39299965)\sqrt{200.2} + 1.5(2) = 36.86 \text{ m}$$

$$L_{\text{Superior}} = 3(2.39299965)\sqrt{200.2} + 1.5(2) = 104.58 \text{ m}$$

$$A_{\text{Superficial}} = (36.86)(104.58) = 3,854.82 \text{ m}^2$$

$$Q_e = (0.91410329)(200.2) - 0.03(2.39299965)\sqrt{200.2} (2) - 0.01125(2)^2 = 180.93 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$O_F = 25.769013 \text{ días}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = (0.00528124)(10,000,000) \left( \frac{200.2}{180.93} \right) = 58,438 \text{ NMP}/100\text{mL}$$

$$\text{DBO}_e = (0.17670417)(220) \left( \frac{200.2}{180.93} \right) = 43 \text{ mg/L}$$

As already indicated to the maturation pond is proposed retention time and factors are calculated and the calculated values are shown in Table 4.

The input data for the design of the maturation pond are: fecal coliform corrected by evaporation in the effluent from the facultative pond. 58.438NMP/100mL, DBO also in the effluent 43 mg/L, and. expenditure corrected by evaporation: 180.93 m<sup>3</sup>/day. With the above data and factors calculated in Table 4 apply to new account the equations shown in Table 1. As already indicated, the upper width ( $B_{\text{Superior}}$ ), the upper length ( $L_{\text{Superior}}$ ) and expenditure on the effluent are modified due to the depth.

$$V = (18.01)(180.93) = 3,258.49 \text{ m}^3$$

$$B_{\text{Superior}} = (2.45008308)(\sqrt{180.93} + 1.0(2)) = 34.95 \text{ m}$$

$$L_{\text{Superior}} = 3(2.45008308)\sqrt{180.93} + 1.0(2) = 100.86 \text{ m}$$

$$A_{\text{Superficial}} = (34.95)(100.86) = 3,526 \text{ m}^2$$

$$Q_e = (0.90995639)(180.93) - 0.02(2.45008308)\sqrt{180.93} (2) - 0.005(2)^2 = 163.30 \text{ m}^3/\text{día}$$

mg/L., y el gasto corregido por evaporación: 180.93 m<sup>3</sup>/día. Con los datos anteriores y los factores calculados en el Cuadro 4 se aplican de nueva cuenta las ecuaciones que se indican en el Cuadro 1. Como ya se indicó, el ancho superior (B<sub>Superior</sub>), la longitud superior (L<sub>Superior</sub>) y el gasto en el efluente se modifican debido a la profundidad.

$$V = (18.01)(180.93) = 3,258.49 \text{ m}^3$$

$$B_{\text{Superior}} = (2.45008308)(\sqrt{180.93} + 1.0(2)) = 34.95 \text{ m}$$

$$L_{\text{Superior}} = 3(2.45008308)\sqrt{180.93} + 1.0(2) = 100.86 \text{ m}$$

$$A_{\text{Superficial}} = (34.95)(100.86) = 3,526 \text{ m}^2$$

$$Q_e = (0.90995639)(180.93) - 0.02(2.45008308)\sqrt{180.93}(2) - 0.005(2)^2 = 163.30 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$N_f/N_o = (0.01544468)(58,438) \left( \frac{180.93}{163.30} \right) = 1000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$$

$$\text{DBO}_e = (0.23495835)(43) \left( \frac{180.93}{163.30} \right) = 11.2 \text{ mg/L}$$

Se muestra la aplicación y resultados de las 11 ecuaciones del método de diseño reducido. Como se observa, no existe diferencia entre los resultados de ambos métodos. Pero el diseño reducido presenta menor número de operaciones al disminuir en forma importante el número de ecuaciones: 11 en sustitución de las 23 del método tradicional. Las expresiones del método reducido de diseño propuesto son: el volumen, el área, ancho superior, longitud superior, gasto en el efluente corregido por evaporación, el tiempo de retención hidráulico, número de coliformes fecales corregidos por evaporación; y la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de ambas lagunas.

El número de ecuaciones publicado en el manual de Collí *et al.* (1992) para el diseño de un sistema lagunar; con arreglo de una laguna facultativa más una de maduración, es también de 11. Sin embargo, una vez analizado el procedimiento se observó que éste no incluye lo siguiente: el gasto del efluente considerando la evaporación, coliformes fecales y DBO también corregidos por evaporación. De lo anterior se entiende que en el método simplificado publicado por Collí *et al.* (1992) no incluye la relación de inclinación de los taludes así, como la evaporación diaria en milímetros. Para determinar el tiempo de retención hidráulico y la predicción de la materia orgánica utiliza una tabla. El método de diseño reducido propuesto en el presente artículo, proporciona datos suficientes para realizar el proyecto, además de la

$$N_f/N_o = (0.01544468)(58,438) \left( \frac{180.93}{163.30} \right) = 1000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$$

$$\text{DBO}_e = (0.23495835)(43) \left( \frac{180.93}{163.30} \right) = 11.2 \text{ mg/L}$$

The implementation and results of the 11 equations reduced design method is shown. As shown, there is no difference between the results of both methods. But the small design presents fewer operations to decrease significantly the number of equations: 11 replacing 23 traditional method. Expressions of reduced proposed design method are: volume, area, top width, length top, expenses in the effluent corrected by evaporation, the hydraulic retention time, number of fecal coliform corrected by evaporation; and the biochemical oxygen demand in the effluent from both gaps.

The number of equations published in the manual Collí *et al.* (1992) for the design of a lagoon system; arrangement of a facultative pond plus one of maturation, is also 11. However, once the procedure has analyzed it was observed that this does not include the following: spending effluent considering evaporation, fecal coliforms and DBO also corrected by evaporation. From the above it is understood that the simplified method published by Collí *et al.* (1992) does not include the ratio of inclination of the slopes as well as the daily evaporation in millimeters. To determine the hydraulic retention time and prediction of organic matter using a table. The reduced design method proposed in this article, provides sufficient information for the project, in addition to the missing information in the design method published by Collí *et al.* (1992). Another advantage of the proposed method is that it can determine the width and length of average and lower gaps; as it has the ratio of inclination of the levees and the depths of the lagoons.

It is important to note that the reduced method has certain limitations in its application; since the depth was considered constant at 1.5 m for the facultative pond, and one meter for maturation lagoon, plus evaporation was set to 5 mm/day. Indicated does not mean that the proposed method cannot be calculated with different depths that are recommended by the literature. The same criteria only be included in the new formula constant depth below. About influent DBO, it was set as a constant. The limit considered is the average concentration indicating literature.

información faltante en el método de diseño publicado por Collí et al. (1992). Otra ventaja del método propuesto es que éste puede determinar el ancho y longitud promedio e inferior de las lagunas; ya que se cuenta con la relación de inclinación de los bordos y las profundidades de las lagunas.

Es importante indicar que el método reducido tiene ciertas limitaciones en su aplicación; ya que la profundidad se consideró como una constante a 1.5 m para la laguna facultativa, y un metro para la laguna de maduración, además de la evaporación que se fijó a 5 mm/día. Lo indicado no significa que el método propuesto no pueda calcular con las diferentes profundidades que son recomendadas por la literatura. Se sigue el mismo criterio únicamente se incluirá en las fórmulas la nueva constante de profundidad. Acerca de la DBO en el influente, ésta se fijó como constante. El límite considerado es la concentración media que indica la literatura.

## Conclusiones

Al aplicar el método de diseño propuesto se redujo el número de ecuaciones de 23, que considera el método tradicional de diseño, a solo 11 fórmulas. Los resultados que se obtuvieron con el método de diseño reducido son similares al tradicional.

El método propuesta presenta algunas ventajas importantes sobre el método publicado por Collí *et al.* (1992): gasto donde se incluye la evaporación, inclinación de los bordos, coliformes fecales y materia orgánica también corregidos por evaporación.

El método de análisis propuesto en el presente documento, fue aplicado a las condiciones ambientales que prevalecen en la Comarca Lagunera del estado de Durango. El criterio de análisis puede utilizarse en cualquier región; pero es necesario tomar en cuenta los datos climáticos particulares. Por ejemplo: temperatura del mes más frío, evaporación, además la relación de inclinación de los bordos y gasto de diseño.

El método propuesto se recomienda aplicarlo especialmente cuando se diseñe con parámetros medios en la calidad del agua. Además, éste puede considerarse como una herramienta para comprobar los resultados de diseño del método tradicional. Cabe mencionar, que los factores  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  y  $\tau$  se pueden calcular previamente para diferentes temperaturas para complementar el método reducido con tablas de factores que faciliten en cálculo. Se recomienda continuar con el método de diseño reducido en sistemas lagunares, incluyendo deflectores o canales.

## Conclusions

In applying the method proposed design equations number 23, which considers the traditional design method, only 11 fell formulas. The results obtained with the design method are similar to traditional reduced.

The proposed method has some important advantages over the method published by Collí *et al.* (1992): expenditure where evaporation, inclination of boards, fecal coliforms and organic matter also includes corrected by evaporation.

The analysis method proposed in this paper, was applied to the environmental conditions prevailing in the Laguna region of the state of Durango. The analysis criteria can be used in any region; but it is necessary to take into account the particular climate data. For example: temperature of the coldest month, evaporation, plus the ratio of inclination of the levees and design flow.

The proposed method is recommended to apply especially when designing with average parameters in water quality. Furthermore, this can be considered as a tool for checking the results of traditional design method. It is worth mentioning that the factors  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  and  $\tau$  can be pre-calculated for different temperatures to complement the small tables of factors that facilitate in calculation method. It is recommended to continue with the design method reduced lagoon systems, including baffles or channels.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Agunwamba, J. C. 1991. Simplified optimal design of waste stabilization pond. *Water, Air, and Soil Pollution*. 59(3-4):299-309.
- Agunwamba, J. C. 2001. Effect of tapering on the performance of waste stabilization ponds. *Wat. Res.* 35(5):1191-1200.
- Agunwamba, J. C.; Ochonogar, A. and Ukpong, E. C. 2003. Experimental and principal component analysis of waste stabilization ponds. *J. Appl. Sci. Eng. Technol.* 3(1):25-30.
- Banda, C. G. 2007. Computational fluid dynamics modeling of baffled waste stabilization ponds. Tesis doctoral. School of Civil Engineering, University of Leeds, UK. 1-5 pp.
- CNA-IMTA. 2007a. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales. CONAGUA-IMTA. Jiutepec, México. 56-83 pp.

- CNA-IMTA. 2007b. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Manual de diseño de lagunas de estabilización. CONAGUA-IMTA. Jiutepec, México. 234 p.
- Collí, M. J.; Rico, M. M.; Rivas, H. A.; Escalante, E. V. E. y Luyendijk, R. 1992. Manual simplificado para el diseño, operación y evaluación de lagunas de estabilización de aguas residuales. CONAGUA-IMTA. Jiutepec, México. 36 p.
- DOF. 1996. 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. SEMARNAT- Secretaría de Gobernación. D. F., México. 29 p.
- EPA. 2002. Onsite wastewater treatment systems manual. Environmental protection agency. Office of Research and Development. EUA. 369 p.
- Guganesharajah, R. K. 2001. Numerical aspects of computational hydraulic and water quality models for rivers, estuaries, reservoirs and aquifers with particular reference to waste stabilization ponds. Tesis doctoral. University of Surrey, UK. 90-120 pp.
- Hamzeh, R. and Ponce, V. M. 2007. Design and Performance of Waste Stabilization Ponds. <http://www.ponce.sdsu.edu>.
- Heredia, D. M. D. 1985. Tecnología moderna para el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Hidráulica en México. 1(1):13-20.
- Kaya, D., Dilek, F. B. and Gokcay, C. F. 2007. Reuse of lagoon effluents in agriculture by post-treatment in a step feed dual treatment process. Desalination. 215(1):29-36.
- Lloyd, B. J.; Vorkas, C. A. and Guganesharajah, R. K. 2003. Reducing hydraulic shortcircuiting in maturation ponds to maximize pathogen removal using channels and wind breaks. Water Sci. Technol. 48(2):153-162.
- Mangelson, K. and Watters, G. 1972. Treatment efficiency of waste stabilization ponds. J. Sanitary Eng. Division. 98(2):407-425.
- Mara, D. D. 2001. Appropriate wastewater collection, treatment and reuse in developing countries. Proceedings of the Institutions of Civil Engineers, London. 299-303 pp.
- Mara, D. D. 2004. Domestic wastewater treatment in developing countries. Earthscan Publications. London, England. 310 p.
- Metcalf and Eddy (1991). Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse., USA: Ed. McGraw-Hill. 124-128 pp.
- Naddafi, K.; Hassanvand, A. S.; Dehghanifard, E.; Faezi-Razi, D.; Mostofi, S.; Kasaei, N.; Nabizadeh, R. and Heidari, M. 2009. Performance evaluation of wastewater stabilization ponds in Arak-Iran, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. 6(1):41-46.
- Oliveira, S. C. and Von Sperling, M. 2011. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. J. Water, San. Hygiene Development. 1(1):37-56.
- Olukanni, D. O. 2011. Hydraulic modeling and optimization of waste stabilization ponds design for developing nations. Tesis doctoral. Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. 357 p.
- Peña, M. R., Mara, D. D. and Pignet, J. M. 2003. Improvement of mixing pattern in pilot scale anaerobic ponds treatment domestic sewage. Wat. Sci. Tech. 48(2):235-242.
- Noyola, A.; Padilla-Rivera, A.; Morgan-Sagastume, J. M.; Güereca, L. P. and Hernández-Padilla, F. 2012. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. Clean-Soil, Air, Water. 40(9):926-932.
- Rolim, M. S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. McGraw-Hill. Colombia. 199-323 pp.
- Wood, M.; Greenfield, P. F.; Howes, T.; Johns, M. R. and Keller, J. 1995. Computational fluid dynamic modelling of waste stabilization ponds. Water Sci. Technol. 31(12):111-118.