

# DETERMINACIONES DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LAGUNAS DE ALTA VELOCIDAD CON RESIDUALES PESQUEROS

Teresita de Jesús ROMERO López<sup>1</sup> y Celia RODRÍGUEZ Pérez de Agreda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP)  
5ta Ave y Calle 246, Barlovento, Santa Fé, Playa, C. Habana, Cuba  
[tromero@cip.telemar.cu](mailto:tromero@cip.telemar.cu)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Hidráulicas (C.I.H), Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" (CUJAE).  
Calle 114 #11901 e/ 119 y 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba  
[celia@cih.cujae.edu.cu](mailto:celia@cih.cujae.edu.cu)

**ABSTRACT:** Due to the necessity to protect the surrounding environment and very specially the inner and coastal waters, were studied different wastewaters systems for their application in facilities without treatment plants. In the very special case of the fishing industry, where only 14 establishments (from 42 active up to the moment) have treatment system, one requires of the study of different alternatives that contribute with the diminishing of the polluting load until permissible values. By such reasons, in addition to the study that was doing to explore and propose a treatment system by high rate pond with the microalgae *Chlorella* spp., empirical and kinetic equations were calculated using biochemical oxygen demand values, with the objective facilitate the prediction of the system efficiency, as well as its design. For the calculation of the empirical equations, the applied and removed organic superficial loads and the applied and removed organic volumetric loads were taking into consideration. On the other hand, it was verified that the first order equation for a batch system adjusts to the purifying process that took place into the system, with the average value for the kinetic constant of the process of 0,47 d<sup>-1</sup>. The results obtained in this study demonstrate the possibilities having the high rate ponds for the wastewater treatment of the Cuban fishing industry and the knowledge of some design parameters.

**Key words:** fishing wastewaters, high rate pond, design parameters, *Chlorella* spp.

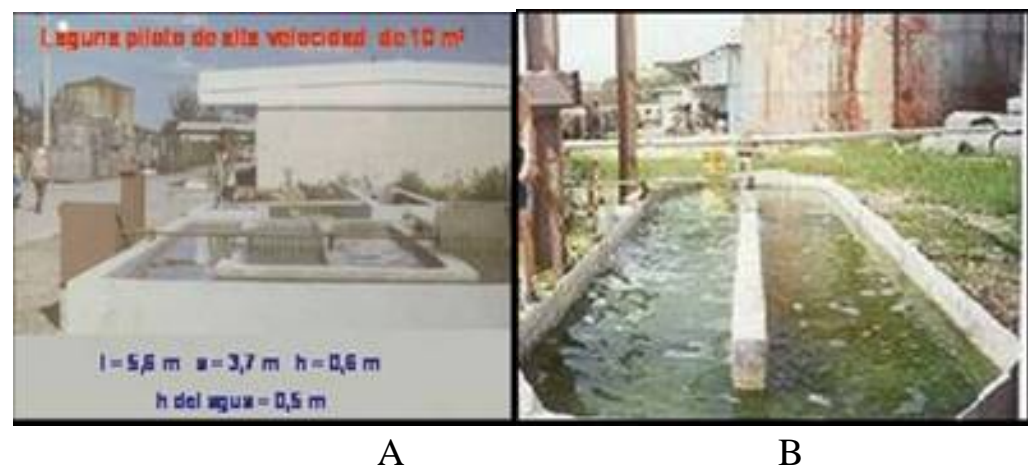
## INTRODUCCIÓN

La construcción de sistemas de tratamiento de las aguas residuales requiere de un diseño adecuado del mismo. Para eso se han aplicado diferentes métodos, entre los que se encuentra el uso de ecuaciones empíricas así como el empleo de ecuaciones cinéticas para lo cual es necesario determinar, en ocasiones, constantes cinéticas que deben ser obtenidas mediante estudios pilotos. Entre las ecuaciones empíricas más utilizadas en el diseño de las lagunas de estabilización, así como de los sistemas acuáticos de tratamiento, se encuentra la obtenida al relacionar la CO<sub>a</sub> (carga orgánica superficial aplicada) y la CO<sub>r</sub> (carga orgánica superficial removida). Esta relación ha sido determinada por varios autores en distintas partes del mundo (Stowell y col., 1981; Hayes y col., 1987; DeBusk y Reddy, 1987; Rodríguez, 1997),

comprobándose que entre estos dos parámetros se establece una correlación lineal mediante la cual es posible calcular de forma aproximada la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que se espera en un sistema de tratamiento. Debido a que como se señaló anteriormente, estas ecuaciones son empíricas, sólo pueden ser utilizadas en el lugar donde fueron obtenidas, de aquí la importancia de su determinación a nivel de planta piloto. A pesar de no haberse encontrado en la literatura consultada referencia alguna acerca del uso de ecuaciones para el diseño de las lagunas de alta velocidad con residual pesquero, se decidió aplicar la relación antes mencionada a los datos hallados en dos plantas piloto que respondían al tipo de sistema mencionado. Otra de las formas aplicadas para el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales es mediante el empleo de ecuaciones matemáticas en las cuales se utilizan constantes de velocidad de remoción, que en ocasiones pueden aparecer en la literatura, pero siempre son obtenidas de forma particular en plantas piloto o sistemas a gran escala. Así lo enfatizan Gotaas y Oswald (1957) desde el comienzo de sus primeras investigaciones acerca del funcionamiento de las lagunas de alta velocidad. Por lo antes expuesto, en este trabajo se decidió evaluar la ecuación matemática que reprodujera el proceso que se lleva a cabo en el sistema estudiado, comprobándose que la que se ajusta mejor corresponde con un sistema en batch, siendo la ecuación propuesta la de primer orden.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de determinar los parámetros de diseño que regirán la proyección de lagunas de alta velocidad o alta tasa en condiciones ambientales cubanas, y que tendrán como propósito disminuir la contaminación de las aguas residuales de la industria pesquera con el auxilio de la microalga *Chlorella* spp., se desarrollaron una serie de experimentos que abarcaron desde laboratorio hasta escala piloto, esta última conformada por una laguna de 10 m<sup>3</sup> de capacidad y la otra de 3 m<sup>3</sup>, ubicadas en dos empresas pesqueras del país. Estas plantas piloto fueron operadas como sistemas en batch o lotes (Fig 1).



**Fig. 1: Cultivo de *Chlorella* spp. en lagunas de 10 y 3 m<sup>3</sup> (A y B)**

Para la evaluación de la laguna de 10 m<sup>3</sup>, se efectuaron seis experiencias en el transcurso de dos años y en la de 3 m<sup>3</sup> se realizaron 12 experiencias también en un período de dos años. Ambas lagunas fueron agitadas con paletas a una velocidad de traslación de la masa de 0,25-0,30 m seg<sup>-1</sup>, con una transferencia baja de oxígeno en un tiempo limitado. En ambas lagunas se determinaron las ecuaciones de diseño con respecto a la carga orgánica superficial aplicada (COa); carga orgánica superficial removida (CO<sub>r</sub>); carga orgánica volumétrica aplicada (CO<sub>va</sub>); carga orgánica volumétrica removida (CO<sub>vr</sub>) y la constante de biodegradabilidad (k) con la ayuda de la ecuación cinética de primer orden siguiente:

donde: C<sub>e</sub>: concentración de DBO efluente (mg/L); C<sub>o</sub>: concentración de DBO afluente (mg/L); e: base de los logaritmos naturales; k: constante de degradación biológica (d<sup>-1</sup>); t: tiempo (d)

Para determinar estas ecuaciones se halló la DBO del agua residual afluente al sistema de tratamiento, del efluente total, que se corresponde con el agua residual con microalgas al término de la máxima producción fitoplanctónica y la del efluente soluble, que representa el sobrenadante derivado del efluente total, una vez separadas las microalgas del medio, según métodos del APHA (1995). El crecimiento celular se determinó con conteos en la cámara de Neubauer.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período de máximo crecimiento celular, para el caso de las experiencias realizadas en la planta piloto de 10 m<sup>3</sup> se produjo entre el 6<sup>to</sup> y 7<sup>mo</sup> día, con concentraciones promedio de 9 y 2 x 10<sup>6</sup> cel/mL, y en la de 3 m<sup>3</sup> se tomó como norma realizar los cultivos hasta los seis días, aportando una cantidad de células de 20 x 10<sup>6</sup> cel/mL en la mayoría de las evaluaciones efectuadas.

Los valores de DBO hallados en cada caso se exponen en las Tablas 1 y 2, que servirían de base para la determinación de las ecuaciones empíricas de diseño.

**Tabla 1: Valores de DBO en distintas fases de la experimentación en laguna de 10 m<sup>3</sup>.**

Día	DBO (rc/rs)	DBO Efluente Total (mg/L)	DBO Efluente Soluble (mg/L)
	800/690	600	-
1		480	365
2		350	260
3		300	225
4		250	190
5		105	90
6		68	37
	690/371	465	-
1		390	306

2	202	190
3	170	65
4	140	50
5	83	30
<hr/>		
670/385	340	-
1	261	180
2	184	102
3	126	85
4	79	55
5	76	48
6	54	22
<hr/>		
465/370	330	-
1	280	230
2	195	155
3	143	90
4	100	82
5	87	63
6	68	42
7	46	30
<hr/>		
340/190	230	-
1	135	105
2	102	43
3	73	30
4	68	22
5	50	18
<hr/>		
638/340	350	-
1	250	200
2	161	150
3	84	56
4	62	35
5	54	27

r c: residual crudo; r s: residual sedimentado

**Tabla 2: Concentraciones de DBO del afluyente (residual sedimentado) y el efluente soluble, de los 12 experimentos realizados en la laguna piloto de 3 m<sup>3</sup>**

Exp.	DBO afl. (mg/L)	DBO efl. soluble (mg/L)	Remoción (%)
1	420	39	91
2	380	32	92
3	870	30	97
4	725	30	96
5	440	43	90
6	430	45	90
7	350	25	93

8	380	33	91
9	410	35	91
10	875	40	95
11	930	35	96
12	558	55	90

Una vez calculadas las COa, CO<sub>r</sub>, CO<sub>va</sub> y CO<sub>vr</sub> con el auxilio de la información de las tablas anteriores y los datos de diseño de las lagunas, se hallaron las ecuaciones de regresión siguientes:

$$CO_r = 0,9665 (CO_a) - 1,0069$$

$$CO_{vr} = 0,9385 (CO_a) - 6,9077$$

Los ANOVA de clasificación simple entre las variables expuestas para la carga superficial y la volumétrica, demostró que no existían diferencias estadísticas significativas, implicando que las ecuaciones de la laguna de 10 m<sup>3</sup> son reproducibles y pueden utilizarse en el diseño de lagunas de alta velocidad en el tratamiento de las aguas residuales de la industria pesquera, para las condiciones cubanas y hasta alturas de 0,5 m, cuando se trata de la carga superficial volumétrica.

Los valores de **k** encontrados de forma gráfica al plotear el ln (Ce/Co) versus tiempo (t) fue de 0,47 d<sup>-1</sup>, muy cercano al observado en Brasil por Figueiredo (1984) de 0,41 d<sup>-1</sup> para T R de 6 días en una laguna fotosintética, utilizando residual doméstico.

Se demuestra que la citada ecuación matemática es válida para representar el proceso depurador que ocurre y que pudieran ser la base para el diseño de los mismos, aunque esta constante **k** puede depender, a su vez, de otros factores. La misma podría aplicarse con aproximaciones aceptables según lo señalan Díaz y col. (1992).

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron por primera vez las ecuaciones empíricas que pueden ser utilizadas para el diseño de lagunas de alta velocidad con residuales pesqueros, lográndose precisar las cargas orgánicas superficiales y volumétricas a aplicar a estos sistemas para una remoción preestablecida, demostrándose que las mismas pueden ser aplicables hasta profundidades de 0,5 m.
2. Se demostró que la ecuación de primer orden utilizada en sistemas en batch, puede ser aplicada para la predicción de la eficiencia del proceso depurador, siendo la **k** obtenida para las condiciones cubanas de 0,47 d<sup>-1</sup>.

## RECOMENDACIONES

- 1\_ Aplicar las ecuaciones empíricas aquí halladas para el diseño de lagunas de alta velocidad con residuales pesqueros, hasta profundidades de 0,5 m.
- 2\_ Utilizar el valor de **k** de 0,47 d<sup>-1</sup> para la predicción de la eficiencia del proceso depurador por lagunas de alta velocidad con residuales pesqueros.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo y constante dedicación del personal calificado del Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) en la adecuación de estos resultados a un lenguaje que satisfaga los requerimientos de los ingenieros, al utilizar este documento como apoyo en la elaboración de proyectos de tratamiento de residuales.

## REFERENCIAS

**APHA**, Métodos estándares para el examen de aguas y aguas de desecho. Ed. Interamericana. S.A. Nueva York. **1995**.

**DeBusk T. A. y Reddy K. R.**, Wastewater treatment and biomass production by floating aquatic macrophytes. En: R. Isaacson, Elsevier Appl. Sci. Pub. **1991**.

**Díaz M., Pérez C., Guerra L., Menéndez C. y Hernández de Armas, J.**, Cálculos de parámetros de lagunas de estabilización aplicando diferentes modelos hidráulicos. Abastecimiento de agua (carteles), tratamiento de residuales. Parte 1 y 2. Ciudad de La Habana, AIDIS.166:75. **1992**.

**Figueiredo L. A.**, Avaliacao da eficiencia das lagoas facultativas fotosinteticas. Engenharia Sanitaria. Vo. 23 (1), 62-64. **1984**

**Gotaas H. B. y Oswald W. J.**, Light conversion efficiency in photosynthetic oxygenation. Algal Research Project. Sanitary Engineering Research Laboratory. Iss. No 6. **1957**.

**Hayes T. D., Isaacson H. R., Reddy K. R., Chynoweth D. P. y Biljetina R.**, Water hyacinth system for water treatment. En: aquatic plants for water treatment and resource recovery. De K. R. Reddy y W. H. Smith. Magnolia Publisher Inc. Orlando. Florida. **1987**.

**Rodríguez P. C.**, Uso de plantas acuáticas en la depuración de las aguas residuales domésticas. Tesis de grado. Fac. de Ing. Civil. CIH. **1997**.

**Stowell R. R., Ludwig T., Colt T. Tchobanoglous G.**, Concepts in aquatic treatment system design. J. Environ. Eng. Div. Proceeding of the ASCE, 107: EE5. **1981**.