

Desarrollo de *Chlorella* spp. en riles orgánicos pesqueros y su influencia en la remoción de la contaminación

INTRODUCCIÓN

La humanidad dispone de posibilidades para disminuir considerablemente la contaminación del medio que la circunda, aunque las posibilidades son mayores donde se planifiquen ciclos tecnológicos cerrados, pasando a la producción sin desechos y obtención de subproductos, los cuales eliminan o reducen al mínimo el vertimiento de riles a ríos, canales, lagos, costa, subsuelo, tierra o atmósfera.

Una gran diversidad de contaminantes son producidos por el hombre como consecuencia del desarrollo de sus actividades sociales; muchos de ellos van a parar al agua, directa o indirectamente, para provocar cambios que en su generalidad son contradictorios con el desenvolvimiento armónico de la naturaleza.

Los distintos contaminantes que son introducidos directamente a la zona ribereña procedentes de las industrias, los servicios domésticos, escurrimientos agrícolas y de zonas urbanizadas, así como los procedentes de las instalaciones agropecuarias y empresas energéticas, que mundialmente sobrepasan la cifra de 1000 millones de metros cúbicos, ejercen efectos diversos sobre los organismos acuáticos vivientes y la pesca, provocando la pérdida de miles de toneladas de peces, moluscos y crustáceos entre otros.

Esta es la evidencia por la cual en los lineamientos del sector pesquero, siempre se le ha dado un espacio al estudio y aplicación de nuevas alternativas de tratamiento de las aguas residuales, que den respuesta adecuada al problema de los impactos negativos que producen sus efluentes al ecosistema, dando frente a las viejas concepciones teóricas y pasando al uso de otros sistemas de tratamiento de aguas contaminadas que se vienen desarrollando actualmente en el mundo y a partir de los cuales se pueden lograr beneficios no sólo ecológicos, sino también de amplia repercusión en la esfera social.

Resumen / Abstract

*Las nuevas alternativas de tratamiento de las aguas residuales en el sector pesquero, darán respuesta adecuada al problema de los impactos negativos al ecosistema proveniente de los residuales líquidos, de ahí que se realizara una investigación sobre cultivo de *Chlorella* spp. en riles orgánicos pesqueros, donde se determinó su crecimiento bajo las condiciones de luz y temperatura imperantes en Cuba y potencial descontaminador de esta alga, presentado en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Las experiencias se efectuaron en erlenmeyers, acuarios, estanques y laguna piloto. En todos los casos, se evidenció un crecimiento satisfactorio de la microalga y una disminución de la DBO en el orden del 85-95% del efluente total y soluble con respecto al residual sin presencia de *Chlorella*. Se propone el uso de la microalga para fines de tratamiento biológico de los riles pesqueros, preferiblemente en lagunas de alta velocidad.*

*Palabras clave: *Chlorella*, desarrollo, riles orgánicos pesqueros, remoción*

*Waste water new treatment alternatives in the fishing sector will give adequate answers to the problem of negative impacts on the ecosystem coming from polluted waters. For that reason investigations with cultures of *Chlorella* spp. were carried out on fishing organic riles, where its growth under prevailing conditions of light and temperature in Cuba was determined as well as the decontamination potential of this algae, expressed in terms of biochemical oxygen demand (BOD). The experiences took place in erlenmeyers, aquariums, tanks and a pilot lagoon. In all cases a satisfactory microalgae growth was evident and BOD reduction obtained of about 85-95% of total and soluble effluents with respect to the polluted water without presence of *Chlorella*. The use of the microalgae for biological treatment of fishing riles is encouraged, preferably in lagoons of high speed.*

*Keywords: *Chlorella*, development, fishing organic riles, removal*

De ahí que en este estudio, se hiciera énfasis en las potencialidades de la microalga *Chlorella* spp. como depuradora de riles orgánicos de las instalaciones procesadoras de la pesca, valorando paralelamente su viabilidad para crecer en este medio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar la viabilidad del uso de la microalga *Chlorella* spp. como depuradora de riles pesqueros bajo las condiciones ambientales imperantes en Cuba, se desarrollaron una serie de experimentos que incluyeron desde una primera fase de laboratorio en condiciones controladas hasta el escalado piloto al exterior. Para ello se utilizó residual pesquero mixto conformado por agua de desecho de las labores de descongelación, eviscerado, cocción y procesamiento de los recursos jurel (*Caranx latus*), bonito (*Sarda sarda*), atún (*Thunnus albacares*), calamar (*Loligo vulgaris*), langosta espinosa (*Panulirus argus*) y camarón blanco (*Litopenaeus schmitti*) entre otros. Como acción previa a la realización de cada experimento, el agua residual fue pretratada en la empresa pesquera donde se generó, efectuando la separación de grasa y sólidos gruesos establecidos en cada instalación productiva del país.

La proporción de cultivo de *Chlorella* spp. añadida en cada caso fue a razón de 1/10 del volumen total de residual a tratar, con una concentración superior a 20×10^6 cel/mL.

Cultivo de *Chlorella* spp. en condiciones controladas de iluminación y a temperatura ambiente

El objetivo de esta primera fase fue verificar si la microalga *Chlorella* spp. era capaz de adaptarse y desarrollarse en las aguas residuales de las instalaciones procesadoras de productos pesqueros, sin necesidad de añadir otro nutriente inorgánico al medio escogido.

Se realizaron 10 corridas experimentales en días diferentes con tres réplicas cada una, añadiendo 200 mL de residual mixto y 20 mL de cultivo de *Chlorella* spp. a erlenmeyers de 500 mL de capacidad.

Los recipientes se colocaron a 10 cm de la fuente emisora de luz constituida por bombillas fluorescentes que emitían de 1 800 a 2 000 lx, con fotoperíodo de 12:12 y se agitaron manualmente.

Con una frecuencia diaria, se tomaron muestras de cada recipiente a las 11:00 horas para determinar el número de células en los cultivos.

Cultivo de *Chlorella* spp. al exterior

Para confirmar el potencial reproductivo de *Chlorella* spp. al exterior, así como el poder descontaminador de la microalga sobre los riles orgánicos pesqueros, se realizaron experiencias en acuarios de 44 litros de capacidad, continuando en estanques de fibrocemento de 350 litros y culminando en laguna de alta velocidad de 3 m³.

En los acuarios provistos con 44 litros de riles

pesqueros, se agregaron 4,4 litros de cultivo de *Chlorella* spp. para un total de 20 experiencias en días diferentes. Estos recipientes se expusieron al exterior y se agitaron manualmente con una frecuencia horaria, desde las 8:00 hasta las 17:00 horas. Las muestras para la medición del crecimiento celular y el análisis de calidad de agua en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se efectuó tanto al afluente al sistema, como al efluente total y soluble, tomándose a las 11:00 horas, precisando así la eficiencia del sistema en términos de DBO.

En estanques de fibrocemento se realizaron 16 experiencias similares a las anteriores, donde se agregaron 35 litros de *Chlorella* spp. a 350 litros de residual pesquero, colectándose las muestras para su análisis con una frecuencia diaria a las 11:00 horas.

En lagunas piloto de 3 m³ de capacidad, el procedimiento a seguir fue similar, destacándose que la agitación al medio se realizó de forma mecánica, con el auxilio de paletas movidas por un rotor que producía una velocidad de traslación de la masa de 0,25-0,30 m seg⁻¹, haciendo una transferencia baja de oxígeno en un tiempo limitado y manteniendo la masa en suspensión, la que requiere de la radiación solar para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis y el aporte consiguiente de oxígeno al medio, que es utilizado por las bacterias para estabilizar la materia orgánica presente en el residual.

Las dos lagunas estudiadas se construyeron con planchas de asbesto cemento, con una profundidad de 0,35 m. El largo medido en la parte central fue de 6.55 m y el ancho de 1,60 m, para un área superficial de 9.40 m² despreciando las áreas no utilizables. La altura del agua se estableció en 25–30 cm, según lo recomendado por Oswald (1988).

Para la realización de la experimentación se efectuaron 12 experiencias.

Métodos empleados

Desarrollo de la microalga: conteo celular en la cámara de Neubauer, empleando para ello un microscopio biológico binocular.

Remoción de la contaminación orgánica: determinación de la calidad orgánica del agua en términos de DBO, según el método de las diluciones reportado en el APHA (1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erlenmeyers de 200 mL como medio

El patrón de crecimiento del alga en las diferentes réplicas, muestra que los máximos celulares se presentaron entre el sexto y el séptimo día de cultivo, después de haber dejado activo el experimento hasta nueve días, con concentraciones que estuvieron en el orden entre 11×10^6 cel/mL y 18×10^6 cel/mL como promedio de las tres réplicas efectuadas por experimento (tabla 1).

Tabla 1. Información acerca del cultivo de *Chlorella* spp. en erlenmeyers de 200 mL

Parámetro	Experimento				
	1	2	3	4	5
Cel/mLx10⁶	16	13	11	16	17
Día de máximo crecimiento celular	6	6	6	7	7
	6	7	8	9	10
Cel/mLx10⁶	18	14	13	17	17
Día de máximo crecimiento celular	7	6	6	7	7

Cel/mL: número de células por mL

Tabla 2. Información acerca del cultivo de *Chlorella* spp. en acuarios de 44 litros

Parámetro	Experimento									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cel/mLx10⁶	15	11	35	24	21	25	20	29	29	35
Día de máximo crecimiento celular	4	6	5	6	5	7	6	5	7	6
DBOra (mg/L)	450	380	330	420	450	460	470	385	350	330
DBOet(mg/L)	123	100	70	63	85	64	72	66	65	61
Eficiencia (%)	73	74	79	85	81	86	85	83	81	82
DBOes (mg/L)	59	52	55	51	52	53	59	50	50	43
Eficiencia (%)	87	86	83	88	88	88	87	87	86	87
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cel/mLx10⁶	38	32	28	31	30	24	29	20	24	19
Día de máximo crecimiento celular	6	6	5	6	7	7	7	8	7	7
DBOra (mg/L)	345	328	390	400	470	395	495	440	450	480
DBOet (mg/L)	63	45	85	67	82	68	85	95	62	65
Eficiencia (%)	82	86	78	83	83	83	83	74	86	86
DBOes (mg/L)	52	18	35	48	48	35	70	48	49	51
Eficiencia (%)	85	94	91	88	88	91	86	89	89	89

Cel/mL: número de células por mL; **DBOra**: DBO del agua residual afluente; **DBOet**: DBO del efluente total (medio de cultivo residual sin separación de las algas); **DBOes**: DBO del efluente soluble (medio de cultivo residual al último día, después de centrifugadas las algas)

Estos resultados testificaron acerca de la posibilidad de dirigir los estudios a un escalado superior, pero en condiciones no controladas, para ir acotando de manera escalonada los parámetros que regirían el cultivo de *Chlorella* spp. en los riles pesqueros y en las condiciones climatológicas imperantes en Cuba, a modo de definir el potencial descontaminador de la microalga.

Acuarios de 44 litros como medio

El crecimiento máximo de *Chlorella* spp. dado en número de células se presentó entre los días seis y siete mayoritariamente, después de haber retenido el cultivo hasta nueve días sin renovación alguna de residual fresco, con valores superiores a 20×10^6 cel/mL en casi la totalidad de las experiencias (tabla 2), avalando el estudio realizado a pequeña escala en laboratorio, que presentaron concentraciones similares en períodos de tiempo semejantes.

la DBO, superior al 70 %. Sin embargo, cuando se separan las algas, las DBO del efluente soluble disminuyen aún más, lográndose remociones entre 83 % y 94 % (figura 1).

Estanques de 350 litros como medio

La concentración celular, al igual que los cultivos en acuarios, se mantuvo por encima de 20×10^6 cel/mL en un tiempo comprendido entre siete y ocho días mayoritariamente (tabla 3).

En cuanto al proceso depurador llevado a cabo en estos estanques, se puede señalar que en las 16 corridas experimentales, la DBO del afluente al sistema osciló entre 390 mg/L y 620 mg/L, mientras que el efluente total y soluble después de siete u ocho días de retención, mostraron remociones en el orden de 80%–89% y 90%–96% respectivamente, demostrándose el potencial depurador de las algas utilizadas (figura 2).

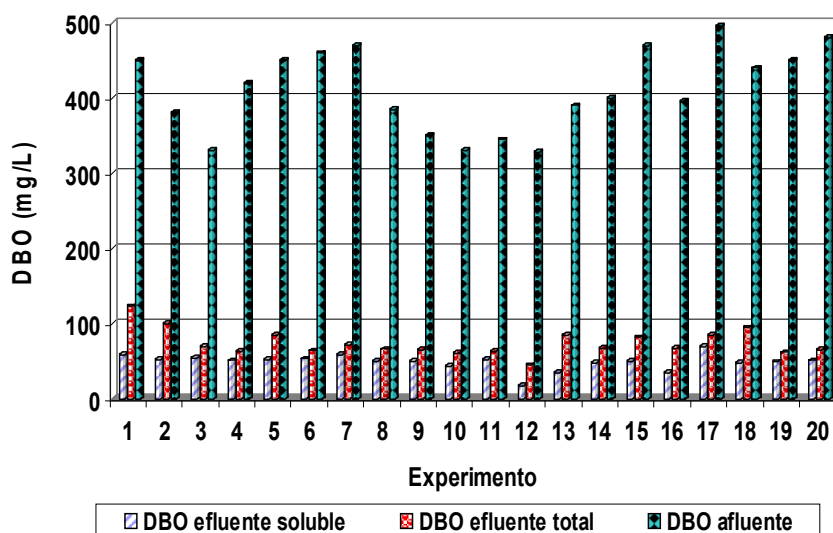


Figura 1. Concentraciones de DBO del agua residual pesquera, del efluente total al término de su máxima concentración celular y del efluente soluble, en los experimentos llevados a cabo en acuarios de 44 litros

Por otra parte, en la tabla se señalan además, las concentraciones de las DBO halladas en el residual tomado directamente de las labores productivas de los diferentes recursos pesqueros (afluente al sistema), en el efluente total (medio de cultivo residual sin separación de las algas) y en el efluente soluble (medio de cultivo residual al último día, después de centrifugadas las algas).

Como se aprecia, las DBO del afluente oscilaron entre 330 mg/L y 495 mg/L, y las del efluente total entre 45 mg/L y 123 mg/L. Estos resultados demuestran que los microorganismos aerobios presentes en el medio, son capaces de degradar la materia orgánica existente, apoyados por el oxígeno que aportan las algas en su proceso fotosintético, provocando una reducción considerable de

Lagunas de 3 m³ como medio

La concentración celular a los seis días de permanencia de las algas en las lagunas de alta velocidad, fue superior a 20×10^6 cel/mL (entre 22×10^6 cel/mL y 33×10^6 cel/mL) (tabla 4).

Respecto a los valores de DBO, el residual sin tratar presentó concentraciones que oscilaron entre 350 mg/L y 930 mg/L y el efluente soluble entre 25 mg/L y 55 mg/L (figura 3). En la misma figura se muestran los porcentajes de remoción, los que estuvieron todos por encima de 90%, independientemente de la concentración del afluente, lo que hace que el sistema se identifique como de elevada eficiencia depuradora para los rangos de DBO encontrados.

Tabla 3. Información acerca del cultivo de *Chlorella* spp. en estanques de 350 litros

	Experimento							
Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8
Cel/mLx10 ⁶	35	33	33	31	23	26	32	30
Día de máximo crecimiento celular	8	8	8	9	8	8	8	9
DBO _{ra} (mg/L)	550	490	530	600	610	540	460	390
DBO _{et} (mg/L)	60	55	60	78	80	90	92	48
Eficiencia (%)	89	89	89	87	87	83	80	88
DBO _{es} (mg/L)	30	32	35	40	40	55	48	15
Eficiencia (%)	95	93	93	93	93	90	90	96
	9	10	11	12	13	14	15	16
Cel/mLx10 ⁶	16	17	20	19	23	20	19	20
Día de máximo crecimiento celular	7	7	7	7	7	7	8	7
DBO _{ra} (mg/L)	420	510	500	620	600	580	560	500
DBO _{et} (mg/L)	55	70	86	98	100	90	82	60
Eficiencia (%)	87	86	83	84	83	84	85	88
DBO _{es} (mg/L)	20	25	20	35	40	40	30	25
Eficiencia (%)	95	95	96	94	93	93	95	95

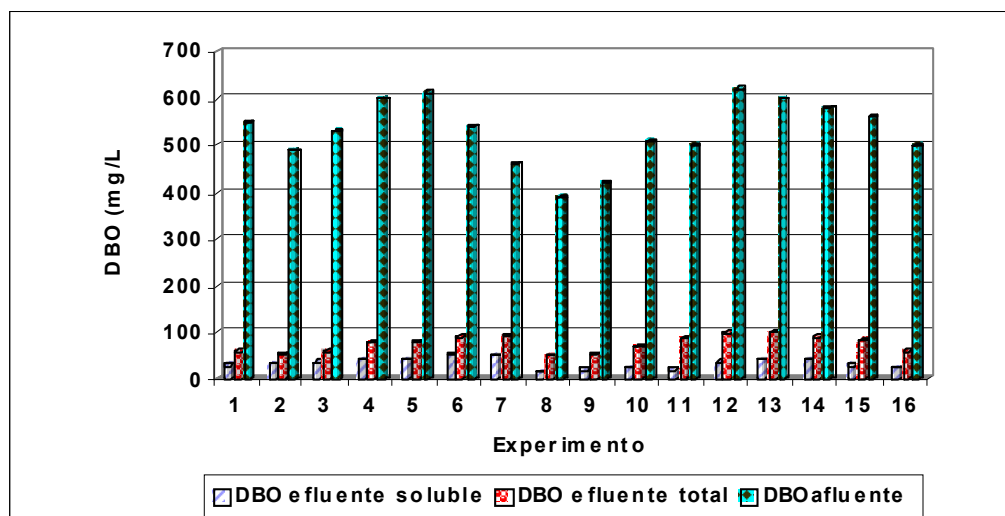


Figura 2. Concentraciones de DBO del agua residual pesquera, del efluente total al término de su máxima concentración celular y del efluente soluble en los experimentos llevados a cabo en estanques con 350 litros

Tabla 4. Características de los cultivos de *Chlorella spp.* en experiencias realizadas en lagunas con 3 m³ y concentraciones de DBO del afluente al sistema y del efluente soluble.

Experimento	Cel/mLx10 ⁶	DBO afluente (mg/L)	DBO efluente soluble (mg/L)	Remoción (%)
1	22	420	39	91
2	25	380	32	92
3	38	870	30	97
4	32	725	30	96
5	25	440	43	90
6	26	430	45	90
7	23	350	25	93
8	24	380	33	91
9	31	410	35	91
10	33	875	40	95
11	36	930	35	96
12	28	558	55	90

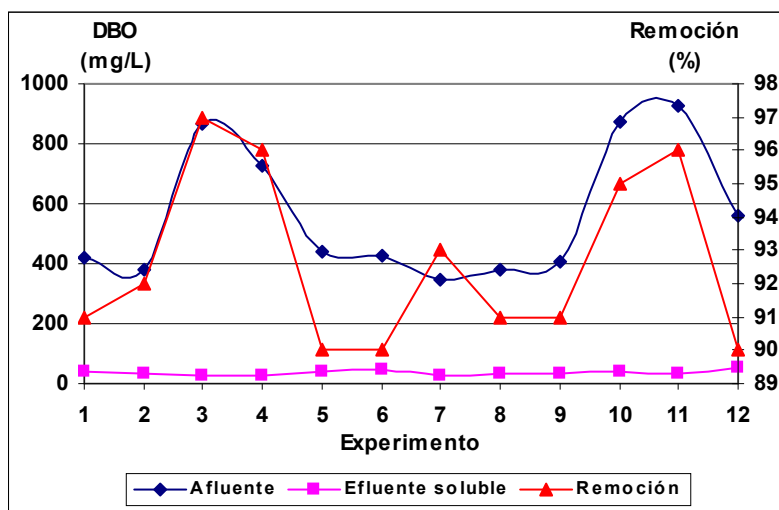


Figura 3. Valores de DBO del agua residual (afluente) y del efluente soluble mediante la acción de las microalgas, así como la remoción de la contaminación al sexto día de cultivo en lagunas de 3 m³

Si se analizan los resultados obtenidos con los riles pesqueros y los logrados por diversos autores con riles provenientes de otras labores industriales donde se generan residuales orgánicos, se observa que las remociones alcanzadas siempre fueron superiores a las reportadas en la bibliografía; tal es el caso de los estudios llevados a cabo en una planta a escala industrial en Melbourne, Australia (Dodd 1979), donde se logró una reducción de la DBO del 79%. Por su parte, Shelef et al. (1980) obtuvieron una reducción del 44% en una laguna piloto de alta velocidad en Yagur (Bahía de Haifa); El Hamouri et al. (2003) también trataron riles domésticos en Marruecos, con una reducción de la DBO del 65%.

En los estudios efectuados, desde el escalado en laboratorio hasta la fase de laguna piloto de alta velocidad, se evidenció el papel importante que juegan las microalgas en el tratamiento de las aguas contaminadas, siendo preciso su separación del medio antes de ser vertido a los cuerpos receptores, debido a la demanda de oxígeno que ellas pueden generar en un momento dado. Además, esas microalgas pueden ser usadas con gran efectividad en múltiples campos de la industria (Romero et al. 2004; Romero et al. 2010; Garrido y Aranda 2010; Laera y Olguín 2010).

También es necesario destacar que las condiciones meteorológicas imperantes en el territorio cubano en gran parte del año favorecen el desarrollo de *Chlorella* al exterior, avalado por los estudios aquí expuestos, manteniéndose la temperatura promedio en el transcurso de los ensayos entre 26 °C y 39,0 °C, condición que no interrumpió el crecimiento celular. Lo expuesto corrobora lo obtenido por Romero et al. (2000), cuando demostraron que esta especie se desarrolla mejor a 35 °C o temperaturas cercanas a este valor y radiaciones solares severas.

CONCLUSIONES

La microalga *Chlorella* spp. se adaptó satisfactoriamente a los riles orgánicos de la pesca, obteniéndose concentraciones celulares por encima de 20×10^6 cel/mL para un tiempo de retención de seis días, valor catalogado como muy bueno tanto en condiciones controladas de laboratorio como al exterior.

Bajo la acción de *Chlorella* spp. se remueven los riles pesqueros hasta un 85% de la DBO sin separar las microalgas y hasta un 95% después de su extracción, de ahí que se proponga la separación del alga antes del vertimiento de los residuales.

REFERENCIAS

- APHA** (1995). «Métodos estándares para el examen de aguas y aguas de desecho». Ed. Interamericana. S.A. Nueva York.
- Dodd, J.** (1979). «Algae production and harvesting from animal wastewaters». *Agricultural Wastes* (1). Applied Science Publishers Ltd, pp. 23-37, England.
- Garrido, P. J. y Aranda A. R.** (2010). «Cultivo de microalgas. Reflexiones y Experiencias en Educación». Proyecto Integrado 1º Bachillerato Cultivando Microalgas. ClaveXXI. Reflexiones y Experiencias en Educación. Nº 4. CEP de Villamartín. www.clave21.es/files/articulos/C01_CultivoMicroalgas.pdf. (Documento en línea, 5 mayo 2011).
- Shelef, G.; Azov Y.; Moraine R. and Oron G.** (1980). «Algal mass production as an integral part of a wastewater treatment and reclamation system». Elsevier/Nort-Holland Biomedical Press, pp.163-189.
- El Hamouri, A.; Rami A. and Vasel J. L.** (2003). «The reasons of the performance superiority of high rate algal pond over three facultative ponds in series». *Water Sci. Technol.* Vol.48, No.2, pp. 269-276.
- Laera-Quezada, M. y Olguín E.** (2010). «Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades». *Rev. Latinoam. Biotecnol. Amb. Algal*, Vol.1, No 1, pp. 91 - 116, www3.inecol.edu.mx/.../loera_olguin_2010_revlatinoambiotecnolambgal_v1n1.pdf. (Documento en línea, 5 mayo 2011)
- Oswald, W. J.** (1988). «Large-scale algal culture systems (engineering aspects)». En: *Microalgae biotechnology*. Borowitzka M. y Borowitzka L. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Romero, T.; Cifuentes R. M. T.; Hernández D. y Pérez E.** (2004). «Acción de la cuproclorofila sobre diferentes patógenos vaginales». *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, Vol.5, No2.
- Romero, T.; Manso B.; López R.; Martínez F. y Moreno M.** (2010). «Producción de Moina sp alimentada con *Chlorella* spp. cultivada con riles orgánicos de la industria pesquera cubana». *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, Vol.11, No12.
- Romero, T.; Miyashita H. y Kurano N.** (2000). «Crecimiento y composición bioquímica de *Chlorella* sp. cultivada en residual pesquero». *Bol. del Centro de Inv. Biológicas*. Vol.34, No2, pp.93-110. La Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela

Recibido: Agosto del 2011
Aprobado: Septiembre del 2011