

UTILIZACIÓN DE EICHHORNIA CRASSIPES EN LA REMOCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL CULTIVO DE PENAEUS VANNAMEI EN AGUA DULCE

David E. Saldarriaga Yacila¹ y Leocadio Malca Acuña²

Resumen: Con el fin de determinar la mejor densidad de siembra y su eficiencia para la remoción de gases contaminantes se utilizó *Eichhornia crassipes* en el cultivo de *Penaeus vannamei* en agua dulce, por un periodo de 75 días en seis estanques de 10 m². La población experimental fue de 120 ejemplares de *E. crassipes* utilizados a 2 y 4 plantas/m², incorporándose un tratamiento control sin *E. crassipes*. Se aclimataron 1 200 poslarvas de *P. vannamei* de 0,002 g por 12 días, luego fueron cultivadas a 20 Ind./m². La temperatura, oxígeno disuelto y pH se registraron diariamente, la concentración de los gases contaminantes: amoníaco, nitrato y los nutrientes: nitrato y fosfato, se determinaron semanalmente. El alimento se suministró en comederos. Los controles de supervivencia y crecimiento de *P. vannamei* se hicieron semanalmente tomando una muestra de 50 ejemplares. Se aplicó el diseño experimental de Estimulo Creciente y se analizó a través del Análisis de Varianza para el diseño estadístico Completamente al Azar y la prueba de Duncan para comparación de medias ($\alpha=5\%$). Los resultados evidenciaron que la mejor densidad de *E. crassipes* fue 4 plantas/m² y la eficiencia de remoción máxima de amoníaco fue 93,94 %; nitrato, 67,33 %; nitrato, 46,35 % y fosfato, 12,58 %. Es posible utilizar *E. crassipes* para la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *P. vannamei* en agua dulce, controlando su propagación por generación de corriente de agua en el estanque.

Palabras Claves: *Eichhornia crassipes*, gases contaminantes, *Penaeus vannamei*.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de langostinos en el mundo ha llevado a la intensificación de los sistemas de cultivo y por lo tanto a la implementación de mejores tecnologías para incrementar la producción y productividad, que permitan mejorar o mantener la calidad de agua y suelo en los parámetros de cultivo, minimizando el impacto negativo de los efluentes sobre el ambiente. En Tumbes, Perú, el cultivo semi-intensivo e intensivo de langostino se ha extendido hacia áreas continentales con la utilización de agua dulce, pero en ninguno de los casos los efluentes son controlados ni menos tratados, por lo que es necesario utilizar alguna técnica para remover y disminuir la carga de gases contaminantes en el estanque de tal manera que se logre doble beneficio: mejorar la calidad de agua de cultivo y reducir el impacto negativo de los efluentes sobre los sumideros acuícola.

En este sentido se cultivaron simultáneamente *E. crassipes* ("Jacinto de agua") y *Penaeus vannamei* con agua dulce en estanques, con los objetivos de determinar una densidad apropiada de esa especie y su eficiencia en la remoción de gases contaminantes, dado que ha sido muy utilizada en el tratamiento de aguas corrientes y efluentes urbanos, principalmente por su alta capacidad de absorción de nitratos y fosfatos, y por su rápida propagación.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en un terreno agrícola ubicado en el Sector Belén, localidad de Pampas de Hospital, provincia y departamento de Tumbes, por un lapso de 90 días (6 de octubre del 2003 a 6 de enero del 2004), para lo cual se utilizaron seis estanques de 10 m² x 1 m, revestidos con plástico.

Los ejemplares de *E. crassipes* fueron colectados en el canal de drenaje del sector Puente El Piojo, Tumbes. Se transportaron en bolsas plásticas y fueron depositadas en baldes plásticos por dos días, luego se lavaron cuidadosamente del sedimento impregnado en la raíz, extrayéndose los organismos adheridos a esta, tallos y hojas residuales. En uno de los estanques de cultivo se dejaron por siete días para lograr su adaptación. Posteriormente fueron seleccionadas y distribuidas en los estanques.

Las densidades de cultivo se distribuyeron al azar en los estanques de cultivo y se muestran en el cuadro 1.

CUADRO 1

Utilización de *eichhornia crassipes* en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Densidades de siembra de *E. crassipes* en los estanques de cultivo.

Estanque	Densidad
E1	Control (sin plantas)
E2	4 plantas/m ²
E3	Control (sin plantas)
E4	2 plantas/m ²
E5	4 plantas/m ²
E6	2 plantas/m ²

¹ David E. Saldarriaga Yacila, Magister en Acuicultura, de la Universidad de Machala, Ecuador.

² Leocadio Malca Acuña, docente de Universidad Nacional de Tumbes, Facultad de Ingeniería Pesquera, Departamento Académico de Acuicultura, Perú.

Al inicio y al final de la experiencia, se tomaron los siguientes datos biométricos: diámetro mayor y menor de la hoja, diámetro del bulbo, longitud del tallo y longitud de la raíz. Para calcular la velocidad de propagación de *E. crassipes* en los estanques se contabilizaron los ejemplares. En lo que respecta al cultivo de *P. vannamei*, se aclimataron 500 000 poslarvas en dos tanques de tierra de 10 m² revestidos con plástico (Figura 1) por tres días.

FIGURA 1

Utilización de *eichhornia crassipes* en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Aclimatación y precría



Los recambios se realizaron lentamente cada cuatro horas, con agua del canal de riego de las parcelas agrícolas de la margen izquierda del río Tumbes (distrito de San Jacinto). Los estanques fueron aireados constantemente con suministro de alimento a 45 % de proteína en cada hora. Los desechos metabólicos y los excesos de alimento balanceado fueron evacuados desde el fondo en el momento del recambio de agua hacia un canal de drenaje, por sifoneamiento. Los ejemplares fueron mantenidos en los mismos estanques como precría por 12 días con similar tratamiento anterior. Luego fueron transferidos en horas de la mañana al lugar de experimentación con oxigenación constante, e inmediatamente introducidos en los estanques de cultivo a 20 Ind./m² (Figura 2)

FIGURA 2

Utilización de *eichhornia crassipes* en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Siembra de poslarvas



La frecuencia del registro de parámetros de calidad de agua se hizo en los periodos que se indican en el cuadro 2.

CUADRO 2

Utilización de *eichhornia crassipes* en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Frecuencia y periodos de registro de los parámetros de calidad de agua

Parámetro	Frecuencia	Hora	
		07:00 h	18:00 h
Temperatura (°C)	Interdiario	X	x
Oxígeno Disuelto (ppm)	Interdiario	X	x
pH	Interdiario	X	x
Amoniaco (ppm)	Semanal		x
Nitrito (ppm)	Semanal		x
Nitrato (ppm)	Semanal		x
Fosfato (ppm)	Semanal		x

Temperatura, oxígeno disuelto, pH y Salinidad, fueron determinados *in situ*, con termómetro, oxigenómetro, potenciómetro y refractómetro, respectivamente. Para la determinación de los gases contaminantes (amoniaco y nitrito) y nutrientes (nitrato y fosfato), se extrajeron dos muestras de agua (al azar) por cada estanque con botellas de vidrio transparente que fueron debidamente rotuladas, cubiertas por una funda plástica negra e introducidas en una caja térmica de poliestireno con hielo a -5° C, para inhibir la actividad microbial, y evitar la variación temporal en los niveles de los parámetros indicados. El transporte duró 1:30 horas y

UTILIZACIÓN DE EICHHORNIA CRASSIPES EN LA REMOCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL CULTIVO DE PENAUS VANNAMEI EN AGUA DULCE

los análisis se hicieron inmediatamente utilizando un espectrofotómetro. Se aplicó alimento balanceado comercial al 35 % de proteínas, utilizando un comedero por estanque, a las 17:00 horas. La ración fue ajustada de acuerdo al consumo diario. La conversión alimenticia se calculó con la fórmula indicada por Huet (1978):

$$FCR = Q_a/B_t$$

Donde: FCR = Factor de Conversión Relativo, Q_a = cantidad de alimento consumido (kg) y B_t = biomasa total (kg). La recuperación del nivel de agua se realizó a razón de 7 %/semana (hasta los 38 días de cultivo), posteriormente a razón del 15 %/semana. Los recambios de agua del 30 % se realizaron a los 39 y 60 días de cultivo. Para estimar el crecimiento, se extrajo una muestra al azar de 50 ejemplares, que fueron pesados individualmente por el método Volumétrico y el peso promedio fue calculado con la siguiente fórmula:

$$P_m = [\sum(V_i \cdot f_i)/n] \cdot 1,03$$

Donde: P_m = peso promedio (g); P_i = volumen desplazado (mL); f_i = frecuencias observadas; n = número de ejemplares "pesados" y 1,03 = factor de corrección. La supervivencia se estimó de acuerdo al consumo de alimento balanceado utilizando la siguiente fórmula:

$$S = Q_d \cdot 10^7 / (\%B \cdot W_x \cdot N_o)$$

Donde: Q_d = cantidad de alimento consumido por día (g); $\%B$ = tasa de alimentación diaria (porcentaje de la biomasa); W_x = peso promedio del ejemplar (g); N_o = población inicial. Para el cálculo de la biomasa final se aplicó la siguiente fórmula:

$$B = W_x \cdot S \cdot N_o / 100$$

Donde: B = biomasa final (kg); W_x = peso promedio final (kg); S = supervivencia final (%); N_o = población inicial. El diseño experimental utilizado fue el de Estimulo Creciente (Alvitres 2000) de la densidad de *E. crassipes*, con una repetición más. Se incluyó un tratamiento control en el cual no se utilizó *E. crassipes*. Los datos del experimento fueron procesados utilizando el Diseño Completamente al Azar (Zar 1996). Para determinar la variabilidad en las concentraciones de gases contaminantes en el agua de cultivo se aplicó el Análisis de Varianza (ANVA) y para determinar la densidad con la cual se obtuvo mayor remoción de gases contaminantes por parte de *E. crassipes* se aplicó la prueba de Duncan a un nivel de significancia de 5 % (Calzada 1982).

3. RESULTADOS

Los ejemplares de *E. crassipes* que se desarrollaron en el ambiente natural fueron más robustos y mostraron una mejor apariencia física que aquellos en los estanques de cultivo (Cuadro 3).

CUADRO 3

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de penaeus vannamei en agua dulce. Características biométricas promedio de *E. crassipes* en su ambiente natural y en los estanques de cultivo.

Característica Biométrica	Ambiente Natural ($\times 10^{-3}$)	Estanque ($\times 10^{-3}$)
Altura (m)	45,00	41,00
Diámetro mayor de la hoja (m)	6,02	4,60
Altura de la hoja (m)	3,65	2,40
Diámetro del peciolo o bulbo (m)	3,20	2,05
Longitud de la raíz (m)	31,60	32,25

E. crassipes se propagó a una tasa promedio de 5,57 plantas/mes/m² en los estanques que fueron sembrados a 2 plantas/m², y de 14,02 plantas/mes/m² en los estanques sembrados a 4 plantas/m² (Cuadro 4).

CUADRO 4

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de penaeus vannamei en agua dulce. Características biométricas promedio de *E. crassipes* en su ambiente natural y en los estanques de cultivo.

Densidad (plantas/m ²)	Estanques					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Inicial	Control	4,00	Control	2,00	4,00	2,00
Final	Control	44,60	Control	17,80	47,50	19,60
Propagación (plantas/mes/m ²)	Control	13,53	Control	5,27	14,50	5,87

La temperatura del agua no varió drásticamente en los estanques de cultivo, fluctuando entre 25,55 °C a 27,48 °C. El oxígeno disuelto, en los estanques control fue de 2,88 ppm a 5,76 ppm; en los que se utilizaron 2 plantas/m² el rango fue de 2,90 ppm a 5,92 ppm y en aquellos a 4 plantas/m² la fluctuación fue de 2,79 ppm a 5,80 ppm. El pH se mantuvo relativamente estable entre los tratamientos. En el control el valor promedio fue 7,44, y en los que se aplicó *E. crassipes*, se obtuvieron valores de 7,26 (2 plantas/m²) y 7,29 (4 plantas/m²). El análisis de varianza de los promedios máximos, mostraron que la remoción de gases contaminantes no influyó significativamente en la variación final del pH (Cuadro 5).

La salinidad no tuvo mayores variaciones, manteniéndose en un promedio de 2 ppt.

CUADRO 5

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Valores de los parámetros físicos y químicos promedio en el cultivo de *P. vannamei* con agua dulce y *E. crassipes*.

Tratamiento	Temp. (°C)		Oxig. Dis. (ppm)		pH	
	07:00 h	18:00 h	07:00 h	18:00 h	07:00 h	18:00 h
Control	25,55	27,41	2,88	5,76	7,17	7,71
2 plantas/m ²	25,62	27,48	2,90	5,92	6,95	7,57
4 plantas/m ²	25,71	27,43	2,79	5,80	7,02	7,55

En relación a los gases contaminantes, se observó que el amoníaco promedio fue significativamente mayor en el control con 0,012 ppm que en los estanques tratados con 2 plantas/m² y 4 plantas/m² que alcanzaron niveles respectivos de 0,003 ppm y 0,002 ppm (entre estos hubo diferencias significativas); deduciéndose que la eficiencia promedio en la remoción *E. crassipes* fue de 75,00 % y 83,33 %, respectivamente. En condiciones de máxima concentración de amoníaco (día 39) en el control se llegó a 0,033 ppm, en cambio en los estanques tratados con *E. crassipes* las concentraciones fueron de 0,006 ppm (2 plantas/m²) y 0,002 ppm (4 plantas/m²), obteniéndose la máxima eficiencia de remoción de 81,82 % y 93,94 %, respectivamente. Sin embargo se observó que a pesar del recambio de agua, y aumento poblacional de *E. crassipes*, hasta finalizar el cultivo la concentración del amoníaco aumentó a 0,037 ppm en el control; a 0,011 ppm (2 plantas/m²) y 0,010 ppm (4 plantas/m²), disminuyendo la eficiencia a 70,27 % y 72,97 %, respectivamente (Cuadro 6, Figura 3)

CUADRO 6

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Concentración promedio de gases contaminantes y nutrientes en el cultivo de *P. vannamei* en agua dulce y *E. crassipes*.

Tratamientos	Gases Contam. (ppm)		Nutrientes (ppm)	
	Amoníaco	Nitrato	Nitrato	Fosfato
Control	0,012 a	0,036 a	1,541 a	0,328 a
2 plantas/m ²	0,003 b	0,016 b	1,141 b	0,324 a
4 plantas/m ²	0,002 b	0,013 b	0,935 b	0,346 a

La concentración promedio de nitrato siguió la misma tendencia que el amoníaco, fue significativamente mayor en los estanques control con 0,036 ppm frente a los estanques tratados con *E. crassipes* que respectivamente alcanzaron 0,016 ppm y 0,013 ppm. Esto correspondió a una eficiencia de remoción de 55,55 % (2 plantas/m²) y 63,89 % (4 plantas/m²). Se observó acumulación en todos los estanques durante el cultivo. A los 39

días, antes del recambio de agua, en el control se obtuvo 0,07 ppm mientras que en los tratados con *E. crassipes* los niveles respectivos fueron menores con 0,042 ppm y 0,038 ppm, disminuyendo la eficiencia de remoción a 40,00 % (2 plantas/m²) y 45,71 % (4 plantas/m²). Pero a pesar del recambio de agua, estos niveles fueron aumentando hasta finalizar el cultivo, obteniéndose concentraciones de 0,15 ppm (control); 0,061 ppm (2 plantas/m²) y 0,049 ppm (4 plantas/m²), sin embargo la eficiencia en la remoción aumentó a 59,33 % y 67,33 %, respectivamente (Figura 4)

FIGURA 3

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Variación de amoníaco en el cultivo de *P. vannamei* con *E. crassipes*, en agua dulce.

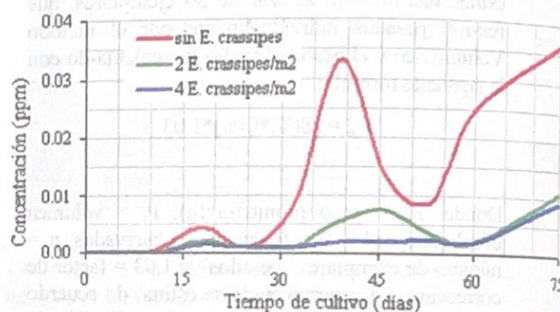
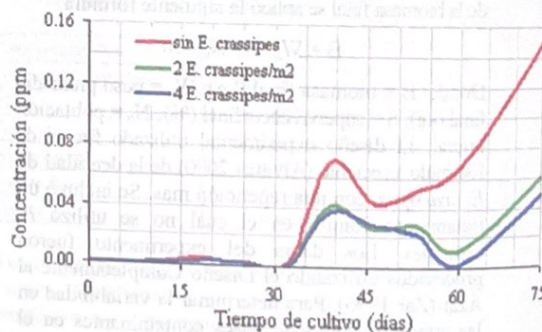


FIGURA 4

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Variación de nitrato en el cultivo de *P. vannamei* con *E. crassipes*, en agua dulce.



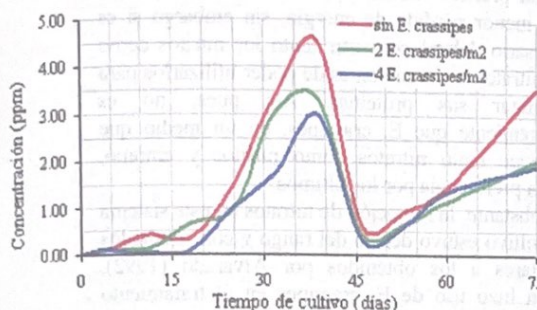
Para el nitrato, el nivel promedio en el control (1,541 ppm), que fue significativamente mayor a los obtenidos en los estanques tratados con 2 plantas/m² (1,141 ppm) y 4 plantas/m² (0,935 ppm). Los niveles siguieron la misma tendencia que los gases anteriores, incrementándose al finalizar el cultivo a 3,607 ppm en el control, hasta 2,052 ppm y

UTILIZACIÓN DE EICHHORNIA CRASSIPES EN LA REMOCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL CULTIVO DE PENAUS VANNAMEI EN AGUA DULCE

1,935 ppm, en los que fueron tratados con *E. crassipes*, (Figura 5).

FIGURA 5

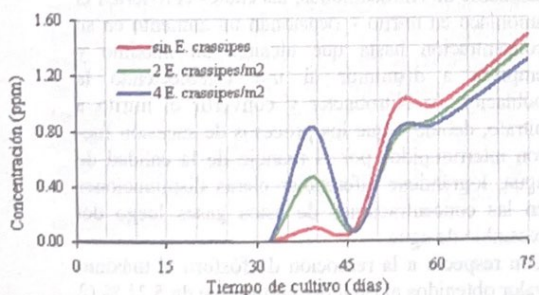
Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Variación de nitrato en el cultivo de *P. vannamei* con *E. crassipes*, en agua dulce.



Las concentraciones de fosfato no tuvieron diferencias significativas, obteniéndose valores de 0,328 ppm en el control, 0,324 ppm en 2 plantas/m² y 0,346 ppm para los que fueron tratados con 4 plantas/m². El máximo valor obtenido al final del cultivo para el control fue 1,479 ppm, de 1,402 ppm para 2 plantas/m² y 1,293 ppm para 4 plantas/m² (Figura 6)

FIGURA 6

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Variación de fosfato en el cultivo de *P. vannamei* con *E. crassipes*, en agua dulce.



En todos los tratamientos la supervivencia de *P. vannamei* no tuvo diferencias significativas obteniéndose 40 % para el control, 40,50 %, y 43,50% para las densidades de 2 plantas/m² y 4 plantas/m², respectivamente (Cuadro 7)

CUADRO 7

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Supervivencia y crecimiento de *P. vannamei* cultivado en agua dulce con *E. crassipes*

Tratamientos	Superviv. (%)	Peso Prom. (g)	Biomasa (kg)
Control	40,00 a	6,76 b	0,54 a

2 plantas/m²	40,50 a	7,48 a	0,61 a
4 plantas/m²	43,50 a	7,87 a	0,68 a

En los tratamientos con *E. crassipes* se obtuvieron mayores crecimientos significativos de *P. vannamei* con valores de 7,48 g y 7,87 g (2 y 4 plantas/m², respectivamente) frente al control que alcanzó 6,76 g. Sin embargo la biomasa obtenida en la experiencia no fue afectada por los tratamientos, obteniéndose valores de 0,54 kg en el control, 0,61 kg y 0,68 kg para los tratados respectivamente con *E. crassipes*. Los factores de conversión alimenticia (FCR) no guardaron diferencias significativas (Cuadro 8)

CUADRO 8

Utilización de eichhornia crassipes en la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *penaeus vannamei* en agua dulce
Factor de Conversión Alimenticia de *P. vannamei* cultivado en agua dulce y *E. crassipes*

Tratamientos	FCR
Control (sin <i>E. crassipes</i>)	1,48
2 plantas/m²	1,45
4 plantas/m²	1,31

4. DISCUSIÓN

E. crassipes es una planta flotante efectiva en la eliminación de algas, bacterias (coliformes fecales) y en la remoción de nutrientes como nitratos y fosfatos, y tiene la capacidad de absorber y almacenar contaminantes químicos en sus tejidos como arsénico, mercurio, plomo, estroncio y cadmio (Alvarado, 1992), por lo que se utilizó en el cultivo de *P. vannamei* en agua dulce, a fin que realizara el trabajo de remoción de los gases contaminantes que se producen en el estanque, como resultado de la actividad bacteriana sobre la materia orgánica residual y mejorar de esta manera la calidad del agua de cultivo y los efluentes. Durante el cultivo la salinidad no varió, y en promedio se mantuvo en 2 ppt, que no afectó el crecimiento de *P. vannamei* porque es una especie eurihalina, ni a *E. crassipes* que, en cambio, fue favorecida porque la temperatura de 24,55 °C a 28,90 °C, fue apropiada para el crecimiento, como lo refiere Alvarado (1992); pues son muy sensibles a bajas temperaturas y altas salinidades. Aunque se pueden desarrollar activamente a partir de temperaturas cercanas a 10° C, pero crecen rápidamente cuando esta es mayor o igual a 21 °C. Asimismo el rango de temperatura estuvo dentro del recomendado para el cultivo de *P. vannamei* de 28 °C a 32 °C, indicado por Van Wyk (2000). Las plantas del ambiente natural (canal de drenaje agrícola) mostraron mayores dimensiones (hojas con una altura de 2,40 cm y pecíolos de 3,20 cm) que los obtenidos en los estanques de cultivo (3,20 cm y 2,05 cm, respectivamente). Efectos que

pueden tener sus causas en la falta de corriente de agua en el estanque léntico, que como señala Agostini (1974, citado por Crow 2004), habita en lagunas, lagos, marismas, canales y zanjas. Además del hacinamiento causado por la rápida reproducción vegetativa que la caracteriza como 5,57 plantas/mes/m² a 14,02 plantas/mes/m², obtenidas en esta investigación.

La experiencia se desarrolló teniendo como principal fuente de nutrientes al alimento balanceado, que no fue consumido totalmente por *P. vannamei*, por lo que en los estanques control y los que fueron tratados con *E. crassipes* los factores de conversión alimenticio fueron 1,48, 1,45 y 1,31, respectivamente, que correspondió en cada caso a un exceso de alimento de 32,43 %, 31,03 % y 23,66 %. Esta materia orgánica residual rica en nutrientes (proteínas y fósforo), fue el sustrato para que, como producto de la nitrificación bacteriana y oxidación química, se incrementa la concentración de gases contaminantes y nutrientes durante el cultivo.

Se observó que la concentración de amoníaco disminuyó cuando aumentó la densidad de *E. crassipes*, por lo que la ganancia en la remoción aumentó al incrementar la densidad de esta planta hasta un máximo de 81,82 % en los estanques a 2 plantas/m² y 93,94 % en aquellos a 4 plantas/m². Sin embargo a pesar del recambio de agua (día 39 de cultivo) y el aumento poblacional de la especie, la eficiencia en la remoción al finalizar el cultivo, disminuyó a 70,27 % y 72,97 %, respectivamente. Esta variación posiblemente se debió a un exceso de nitrógeno en la columna de agua, proveniente de una acelerada nitrificación bacteriana intoxicando la parte radicular de las plantas y por tanto la limitación en la absorción del amoníaco; a pesar de que Walstad (1999), encontró que entre otras plantas *E. crassipes* puede utilizar tanto amonio (NH₄⁺), nitritos (NO₂⁻) o nitratos (NO₃⁻), como fuente de nitrógeno, enfatizando que estas prefieren amonio en lugar de nitrato.

La remoción de nitrato también aumentó con la densidad de *E. crassipes*, entonces la eficiencia fue aumentando con el tiempo, alcanzando un máximo de 59,33 % (2 plantas/m²) y 67,33 % (4 plantas/m²) al finalizar el cultivo a pesar del incremento en su concentración.

Los niveles de nitrato siguieron la misma tendencia que los gases contaminantes anteriores, incrementándose con el tiempo hasta finalizar el cultivo con una eficiencia máxima de remoción respectiva que correspondió a 43,11 % y 46,35 %. Guerrero et al. (1981, citado por Walstad 1999), explican que esta acumulación de nitratos se debe a que el amonio, eventualmente, inhibe la absorción y la asimilación de los nitratos en una gran variedad de organismos, tales como plantas, algas y hongos, a su vez Dortch (1990, tomado de Walstad 1999), refiere por ejemplo que, las plantas no absorben nitratos si la concentración de amonio supera los

0,02 ppm, que coincide parcialmente con esta investigación en que se han obtenido concentraciones mayores consistentes en 0,211 ppm (día 39; 2 plantas/m²) y 0,168 (día 39; 4 plantas/m²), y la remoción de nitratos por *E. crassipes* y el conjunto de bacterias que habitan sus raíces fue del orden de 26,48 % y 33,51 %, respectivamente; sin embargo, Walstad (1999), explica que una planta prefiere reducir el nitrito a amonio porque hay menor pérdida de energía, sin embargo si es necesario deberá convertir tanto los nitritos como los nitratos a amonio antes de poder utilizarlos para sintetizar sus proteínas. Así pues, no es sorprendente que *E. crassipes*, en un medio que contiene tanto nitratos como nitritos y amonio, tenga preferencia por los últimos.

No obstante, la remoción de nitratos en este sistema de cultivo estuvo dentro del rango y con resultados similares a los obtenidos por Alvarado (1992), quien hizo uso de *E. crassipes* en el tratamiento terciario de aguas servidas, donde el contenido de nitrato en el afluente varió de 15,40 ppm a 37,40 ppm y en el efluente de 6,60 ppm a 27,50 ppm, logrando una eficiencia de remoción respectiva de 15,90 % a 57,14 %. Al parecer esta especie incrementa su remoción de nitratos sólo si aumenta su concentración en el sistema de cultivo, o como señala Walstad (1999), que las plantas comenzarían a absorber nitratos uno o dos días después de que todo el amonio ha sido removido del agua.

Dado que la dinámica del estanque de cultivo es muy compleja no se logró establecer claramente la sucesión amoníaco, nitrito y nitrato, señalada por Wheaton (1993), cuando refiere que el nitrito aumenta conforme se va estableciendo la población saludable de Nitrosomonas, las cuales convierten el amoníaco en nitrito y ocasionan un aumento en su concentración hasta que alcanza un máximo y empieza a disminuir al irse estableciendo la población de Nitrobacter y convertir el nitrito a nitrato, debido a que los procesos de sucesión fueron interrumpidos por el manejo de la calidad de agua, lográndose diferenciar claras disminuciones en las concentraciones de estos gases luego del recambio de agua.

Con respecto a la remoción de fósforo el máximo valor obtenidos al final del cultivo fue de 5,21 % (2 plantas/m²) y 12,58 % (4 plantas/m²), que fueron menores al rango obtenido por Alvarado (1992), quien trabajó con un afluente cuya concentración de fosfato varió de 15,70 ppm a 29,95 ppm, mientras que en el efluente varió de 14,95 ppm a 21,20 ppm, lo que correspondió a una eficiencia de remoción de 4,78 % a 33,39 %. Así pues, para que haya remoción considerable de fosfatos en el agua, mediante su almacenamiento en *E. crassipes* y en algunos microorganismos, es necesario que haya carencia temporal de nitratos en una determinada proporción (nitratos: fosfatos = 0,60), por lo que se

UTILIZACIÓN DE EICHHORNIA CRASSIPES EN LA REMOCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL CULTIVO DE PENAUEUS VANNAMEI EN AGUA DULCE

deduce que la baja remoción de fosfatos lograda en esta investigación se debió a la alta concentración

de nitratos (nitrato: fosfato = 5,38; 2 plantas/m²) y (nitrato: fosfato = 4,43; 4 plantas/m²). Lo que en virtud de la Ley del Mínimo, significa que *E. crassipes* dispuso de suficiente cantidad de nitrógeno y sólo absorbió fósforo en la mínima cantidad necesaria para lograr un equilibrio entre ambos nutrientes requerido para su crecimiento.

Al finalizar el cultivo, el oxígeno disuelto varió entre 2,88 ppm a 5,92 ppm, dentro lo recomendado por Hirono (1992), quien indica como mínimo la concentración de 2 ppm para el cultivo de esta especie. El pH (7,05 a 7,90), nitrito (0,049 ppm a 0,150 ppm) y nitrato (1,935 ppm a 3,607 ppm) estuvieron dentro de lo recomendado por Van Wyk (2000) para este cultivo. En cambio se registraron altos niveles de amoníaco (0,011 ppm a 0,037 ppm).

Las concentraciones del fosfato (0,001 ppm) fueron recomendables (0,02 ppm) para el cultivo hasta los 32 días de cultivo, como lo refiere Boyd (1990); pero a partir de 39 días las concentraciones variaron entre 0,091 ppm a 1,479 ppm que no fueron recomendables debido a que este autor considera que niveles mayores de 0,1 ppm son aguas altamente eutrofizadas.

En cuanto a la supervivencia y crecimiento de *P. vannamei*, los mejores resultados se obtuvieron en los estanques cultivados con 4 plantas/m², con supervivencia de 43,50 %, peso promedio de 7,87 g, una tasa de crecimiento semanal de 0,85 g y con biomasa de 0,68 g; justificados porque sus estanques de cultivo presentaron mejores condiciones de calidad de agua para el crecimiento de *P. vannamei*, que en los otros tratamientos. Estos resultados estuvieron cercanos a los valores obtenidos por Luna (2005), quien obtuvo respectivamente, 55 %, 7,03 g, 0,72 g y 0,93 g (datos referidos al mismo tiempo de cultivo de esta investigación).

5. CONCLUSIONES

1. La mejor densidad de *Eichhornia crassipes* para la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *Penaueus vannamei* en agua dulce fue 4 plantas/m².
2. Las máximas eficiencias de remoción por parte de *Eichhornia crassipes* obtuvieron con la densidad de 4 plantas/m²: para amoníaco fue 93,94 %; nitrito 67,33 %; nitrato 46,35 % y fosfato 12,58 %.
3. Es posible utilizar *E. crassipes* para la remoción de gases contaminantes en el cultivo de *P. vannamei* en agua dulce controlando su propagación y corriente de agua en el estanque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS.

- [1] KHALIL, O. (1994), *"Information systems and total quality management: establishing the link"*. ACM Press. 173-183.
- [2] JAMES, P. (1997), *"La Gestión de la Calidad Total. Un texto introductorio"*. Prentice Hall Iberia. Madrid-España.
- [3] AU, G. Y CHOI, I. (1999), *"Facilitating implementation of total quality management through information technology"*. Information & Management. 36. 287-299
- [4] THORNE, C. (2000), *"Indicadores de calidad de la universidad a nivel internacional y el caso peruano"*. Trabajo preparado para la reunión de especialistas en educación universitaria organizada por el Consorcio de Universidades y Foro Educativo. [en línea], http://www.geocities.com/P_E_R_U/lecturas/thorne/thorne.html. Fecha de última visita: agosto de 2007, Lima-Perú.
- [5] CUATRECASAS, L. (2001). *"Gestión Integral de la Calidad: Implantación, Control y Certificación"*. Gestión 2000. Barcelona-España.
- [6] JURAN, J. M. Y GODFREY, A. B. (2001), *"Manual de calidad de Juran"*. McGraw-Hill. España.
- [7] MORENO-LUZÓN, M. D.; PERIS, F. J.; GONZÁLEZ, T. (2001), *"Gestión de la calidad y diseño de organizaciones. Teoría y estudio de casos"*. Pearson Educación. Madrid-España.
- [8] LARI, A. (2002), *"An integrated information system for quality management"*. Business Process Management Journal.
- [9] MOSS, L. Y ATRE, S. (2003), *"Business Intelligence Roadmap. The Complete Project Lifecycle for Decision-Support Applications"*. Addison-Wesley. USA.
- [10] VITT, E.; LUCKEVICH, M.; Y MISNER, S. (2003), *"Business Intelligence. Técnicas de análisis para la toma de decisiones estratégicas"*. McGraw-Hill. Madrid-España.
- [11] MARTÍNEZ, A. R.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, C. Y DEWHURST, F. W. (2004), *"The effect of information technologies on TQM: An initial analysis"*. Int. J. Production Economics 89. 77-93.
- [12] WHITE, C. (2004), *"A Taxonomy for BI"*. DM Review. 70-71.
- [13] CONSORCIO DE UNIVERSIDADES. (2005), *"Gestión de la calidad para instituciones de educación superior. Procesos de autoevaluación y acreditación"*. Primera edición, Lima-Perú.
- [14] GUNASEKARAN, N.; ARUNACHALAM, V. P. Y DEVADASAN, S. R. (2006), *"TISIT: a model for integrating TQM with software and information technologies"*. The TQM Magazine. 18(2).
- [15] PÉREZ, M. *"Aseguramiento de la calidad de la educación superior en América Latina: ¿vamos por el camino correcto?"*. Secretaría Técnica. Consejo Superior de Educación. 271-285.
- [16] NAVA, H. *"Evaluación y Acreditación de la Educación Superior. El Caso del Perú."*

MANEJO DE ARTÍCULOS

1. PRESENTACIÓN

Los autores deben presentar el artículo en tres ejemplares, en formato A4, con márgenes de 25 mm en todos los lados. El texto debe estar escrito en español, con letra Arial 12, y con un espacio de 1.5 entre líneas. El título debe ir en mayúsculas y subrayado. El resumen debe ir en un párrafo de no más de 100 palabras. El cuerpo del artículo debe ir en párrafos de no más de 100 palabras. Las conclusiones deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras. Las referencias deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras.

2. ACERCA DE LOS AUTORES

Quedan presentados los artículos para publicación en la revista de la ESPOL por las siguientes disposiciones:

- El trabajo será enviado en tres ejemplares.
- Comprenderá un máximo de 100 palabras. Este resumen será conciso, informativo e indicará de manera sucinta los resultados y conclusiones de la investigación. Junto de lo cual se presentará una lista de no más de cinco PALABRAS CLAVES utilizadas en el artículo, facilitando de esta manera la indexación.
- A continuación, irá la primera sección del trabajo denominada INTRODUCCIÓN, las restantes secciones las titulará el autor de acuerdo a las características del trabajo.
- La sección final se denominará CONCLUSIONES y en la misma se discutirán los resultados y se habrá llegado a una conclusión.
- La sección BIBLIOGRAFÍA

comentará a los autores del artículo el lugar de publicación. Se incluirá como referencias las publicaciones consultadas, como es lo que requieren todos los trabajos de investigación de este tipo.

3. GENERALIDADES

Los manuscritos para publicación en la revista deben enviarse al editor de la revista en un solo ejemplar, en un formato A4, con márgenes de 25 mm en todos los lados. El texto debe estar escrito en español, con letra Arial 12, y con un espacio de 1.5 entre líneas. El título debe ir en mayúsculas y subrayado. El resumen debe ir en un párrafo de no más de 100 palabras. El cuerpo del artículo debe ir en párrafos de no más de 100 palabras. Las conclusiones deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras. Las referencias deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras.

Los autores deben presentar el artículo en tres ejemplares, en formato A4, con márgenes de 25 mm en todos los lados. El texto debe estar escrito en español, con letra Arial 12, y con un espacio de 1.5 entre líneas. El título debe ir en mayúsculas y subrayado. El resumen debe ir en un párrafo de no más de 100 palabras. El cuerpo del artículo debe ir en párrafos de no más de 100 palabras. Las conclusiones deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras. Las referencias deben ir en un párrafo de no más de 100 palabras.



Impreso en el mes de mayo del 2008 en el
Centro de Difusión y Publicaciones de la ESPOL
Campus "Gustavo Galindo V." Km. 30.5, vía Perimetral
Teléfonos: 2-269225 / 228 • Fax: (593-4) 2-269226
E-mail: lgrodrig@goliat.espol.edu.ec
Guayaquil - Ecuador