BALANCE DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN ESTANQUES DE PRODUCCIÓN DE CAMARÓN EN ECUADOR

Carlos Saldias[1], Stanislaus Sonnenholzner[2] y Laurence Massaut[2]
[1]Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL
[2]Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la acuicultura es la producción de especies acuáticas bajo condiciones controladas o semicontroladas. Para optimizar el crecimiento de los organismos en granjas de cultivo se utiliza alimento balanceado y fertilizantes, principales agentes que afectan la calidad del agua en la acuicultura (Cho *et al.* 1994; Boyd y Tucker 1998).

En estanques de camarón en Tailandia el alimento es el mayor aporte de nutrientes al sistema, constituye un 78%, 51% y 40% del nitrógeno, fósforo y carbono total suministrado, respectivamente (Briggs y Funge-Smith 1994). No obstante, sólo de un 25 a 45% del nitrógeno, 20-30% del fósforo y 10-15% del carbón es asimilado y convertido en camarón (Boyd y Teichert-Coddington 1995; Boyd y Tucker 1998). La porción no asimilada y la no consumida entran al ciclo biogeoquímico del estanque de producción. Una parte es inmovilizada por la absorción del suelo y fijación por bacterias, otra es volatilizada, absorbida por el fitoplancton o descargada en los efluentes (Ritvo *et al*. 1998). Los fertilizantes son utilizados para incrementar la productividad primaria y constituyen el segundo ingreso de nutrientes en sistemas de cultivo.

El agua que sale de la camaronera durante el recambio o cosecha es enriquecida por nutrientes, materia orgánica y sólidos suspendidos provenientes de los estanques de cultivo o canales de descarga. El impacto acumulativo de efluentes sobre el medio ambiente es proporcional al volumen de descarga y a la concentración de nutrientes (Csavas 1994). Florecimientos fitoplanctónicos se producen por una excesiva carga de nutrientes colaborando con el proceso de eutroficación. Al morir estas microalgas forman materia orgánica que es descompuesta por bacterias con la consecuente disminución de los niveles de oxígeno disuelto (Boyd 1989).

El efecto de los efluentes sobre el medio ambiente depende de su carga de contaminantes y de la capacidad de los cuerpos de agua para diluir y/o asimilar los desechos. Si el volumen de agua que recibe es grande y la descarga es pequeña podrían no observarse efectos adversos. Por otro lado, si hay una alta concentración de desechos, elevado volumen de descarga y el cuerpo receptor es pequeño, podrían ocurrir efectos adversos; todo depende en último caso de la tasa de cambio de agua que posea el cuerpo receptor. El mayor problema es cuando el cuerpo de agua sirve como fuente y a la vez como recipiente de efluentes. En tal caso las piscinas alimentadas con estas aguas presentarían problemas durante el cultivo y un alto riesgo de auto-contaminación con agentes que promuevan enfermedades (Boyd y Tucker 1998).

Este estudio fue conducido para relacionar diferentes prácticas de manejo con la calidad de efluentes, balance de nutrientes y recomendar prácticas que podrían reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción de camarón en Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestreó un total de 19 estanques de cultivo de camarón, 14 de ellos estuarinos ubicados en el Golfo de Guayaquil y 5 ubicados en la localidad de Chanduy, Península de Santa Elena, zona donde el suplemento de agua para la acuicultura es de origen marino. Los 5 estanques localizados cercanos al mar fueron sembrados a densidades intermedias (13–19 PL/m^2). De los 14 estanques salobres, 2 fueron sembrados a alta densidad (80–100 PL/m^2), 4 a densidad media (13–19 PL/m^2) y 8 fueron sembrados a baja densidad (4–9 PL/m^2). Piscinas sembradas a mediana y baja densidad tuvieron un tamaño de 1.5 a 16 ha, con una profundidad media de 1 m. Los estanques de alta densidad fueron de 2.1 ha con profundidad media de 1.5 m. La selección de los estanques se hizo con el apoyo de la Cámara Nacional de Acuacultura del Ecuador.

Los estanques fueron manejados por los granjeros. Se recolectaron datos de producción como cantidad y tipo de alimento suministrado, tasa de fertilización, supervivencia, producción total y peso promedio cosechado. Las tasas de recambio de agua para los diferentes estanques promediaron entre 1 y 5% del volumen del estanque diario. Aireación mecánica (bombas tipo aspiradora de 6 hp/ha) fue suplementada en los estanques de elevada densidad. Debido a la presencia del Virus de la Mancha Blanca (WSSV), uno de los estanques de elevada densidad se cosechó a los 44 días de cultivo, mientras que el resto de los estanques entre los 70 y 114 días.

Quincenalmente se recolectaron muestras de afluentes (en el canal reservorio, al lado opuesto de la compuerta de entrada), efluentes (dentro del estanque en la compuerta de salida) y en la estación de bombeo hasta la cosecha. Las muestras fueron transportadas a menos de 4ºC e inmediatamente analizadas en el laboratorio. El total de sólidos suspendidos (gravimetría), fósforo total (digestión con persulfato de potasio y posterior determinación por método de ácido ascórbico), nitrógeno total (digestión con persulfato de potasio y detección por método UV) y demanda bioquímica de oxígeno para 5 días fueron analizadas de acuerdo a los protocolos presentados por APHA *et al*. (1999). Para estimar la concentración de clorofila *a*, entre 50 y 100 mL de agua fue filtrada a través de un filtro Gelman C de fibra de vidrio (1.2 mm de poro), la concentración fue medida por colorimetría después de la extracción con una solución de acetona:metanol (5:1) a temperatura de 60ºC (Pechar 1987).

Muestras de camarón colectados al inicio y final del ciclo de cultivo fueron secadas a 55ºC por 72 horas y posteriormente trituradas para los análisis de nitrógeno y fósforo total. Para determinar fósforo total las muestras se sometieron a digestión con ácido perclórico y se midió fósforo soluble por el método colorimétrico amonio-vanamolibdato (Olson y Sommers 1982). Nitrógeno total se cuantificó por incineración de la muestras en un analizador LECO carbono-nitrógeno CHN600.

Información de las compañias productoras de alimento balanceado en cuanto al porcentaje de proteína, así como la composición de fertilizantes fue recolectada con el fin de estimar las entradas de nutrientes a cada estaque.

Resultados y Discusión

En los diversos estanques de estudio la supervivencia varió entre 6 y 41%, y su biomasa al momento de la cosecha fue de 100, 201 y 476 kg/ha para sistemas de baja, mediana y alta densidad en ambientes estuarinos respectivamente, y de 385 kg/ha para estanques marinos. Estas bajas producciones reflejan los problemas de WSSV presentados durante el estudio. La cantidad de alimento sumistrado fue de 2,8; 3,2; 16,6 y 3,2 kg/ha/día para cultivos de baja, mediana y alta densidad en sistemas estuarinos y en cultivos marinos respectivamente.

El balance de nutrientes en estanques de cultivo de camarón en Ecuador sembrados a diferentes densidades revela que retienen o metabolizan un rango de 0-35% de nitrógeno y 51-61% de fósforo (Tabla 1). El nitrógeno no cuantificado pudo perderse por volatización, denitrificación o percolación (Hargreaves 1998). Boyd (1985) señaló que estos procesos remueven un gran suma de nitrógeno (6,92 kg/ha/año) en estanques de cultivo de bagre, especialmente en condiciones anaeróbicas y elevado pH. A través de un modelo matemático Lorenzen y colaboradores (1997) señalan la importancia relativa de procesos de remoción de nitrógeno para cultivos de camarón a baja y alta densidad, considerando como las de mayor importancia la sedimentación de fitoplancton (66 y 48%, respectivamente) y volatización (8 y 30%, respectivamente). La elevada asimilación del fósforo ha sido reportada por diversos autores (Boyd y Musig 1981; Boyd y Tucker 1998; Gross *et al*. 1998) quienes demuestran que la absorción de fósforo por el sedimento es el mayor factor que controla la concentración de este elemento en el agua de estanques de cultivo. Similar a nuestros resultados, estanques comerciales de cultivo de camarón en Tailandia sembrados a densidades de 52-95 PL/m^2 retienen 31% de nitrógeno y 63% de fósforo (Briggs y Funge-Smith 1994). Estanques experimentales en Alabama sembrados a una densidad de 15-45 PL/m^2 retienen en promedio un 39% de nitrógeno y un 63% de fósforo (Couch 1998). Los estanques que recibieron la menor carga de nitrógeno presentaron una salida de este elemento mayor a los ingresos por lo cual se consideró que su capacidad de asimilación fue de un 0%. Martin *et al*. (1998) señalaron que fondos de piscinas camaroneras sembradas a baja densidad (1 PL/m^2) y con un bajo ingreso de nitrógeno podrían actuar más como contribuidores que como acumuladores de este nutriente.

La fracción más importante del ingreso de nitrógeno son los afluentes, a excepción de sistemas de alta densidad donde el mayor aporte lo constituyó el alimento (Tabla 1). Para fósforo el mayor ingreso fueron los alimentos, la excepción se presentó en cultivos de baja densidad donde los fertilizantes fueron el principal aporte (59%), reflejando las elevadas cantidades aplicadas en estos estanques. En contraste, Teichert-Coddington *et al.* (2000) señalaron para sistemas de cultivo en Honduras (baja densidad) que el principal aporte de nitrógeno y fósforo fueron los afluentes (51 y 63%),

Tabla 1: Balance de nitrógeno y fósforo en piscinas camaroneras sembradas a baja, media y alta densidad con estimación del porcentaje de asimilación.

	Estuario			Agua de mar
	Baja densidad	**Densidad media**	**Alta densidad**	**Densidad media**
NITROGENO (kg N/ha)				
Ingresos				
Alimento	11.20	17.83	82.16	14.60
Fertilizantes	27.40	0.98	0.00	0.90
Afluentes	60.00	49.00	75.00	68.00
Total ingresos	98.97	68.16	158.72	83.57
Egresos				
Camarón	5.74	7.89	14.39	11.48
Efluentes	66.00	61.00	88.50	80.00
Total egresos	71.74	68.89	102.89	91.48
Asimilación	**27.5%**	**0%**	**35.2%**	**0%**
FOSFORO (kg P/ha)				
Ingresos				
Alimento	2.53	4.93	16.66	3.99
Fertilizantes	7.31	0.66	0.00	0.96
Afluentes	2.52	1.29	3.53	0.63
Total ingresos	12.4	6.92	20.36	5.58
Egresos				
Camarón	0.64	0.88	1.61	1.28
Efluentes	5.39	1.82	6.44	1.39
Total Egresos	6.03	2.70	8.05	2.67
Asimilación	**51.4%**	**61.0%**	**60.5%**	**52.2%**

Tabla 2: Media y desviación estándar de las variables de calidad de agua para piscinas de cultivo de camarón sembradas a densidad baja, media y alta.

	Estuario			Agua de mar
	Baja densidad	Densidad media	Alta densidad	Densidad media
Nitrógeno total (mg/L)				
Afluentes	5.9 ± 2.4a,*	5.2 ± 1.1a,*	4.8 ± 1.2a,*	6.0 ± 1.2a,*
Efluentes	6.5 ± 1.1a,*	6.2 ± 0.9a,**	5.8 ± 1.7a,*	8.0 ± 1.3b,**
Fósforo total (mg/L)				
Afluentes	0.24 ± 0.21a,*	0.13 ± 0.04b,*	0.23 ± 0.05a,*	0.06 ± 0.04b,*
Efluentes	0.53 ± 0.26a,**	0.19 ± 0.08b,c,**	0.42 ± 0.17a,b,**	0.15 ± 0.05c,**
TSS (mg/L)				
Afluentes	88.99 ± 39.91a,*	86.31 ± 20.32a,*	74.65 ± 17.97a,*	93.35 ± 26.65a,*
Efluentes	115.07 ± 31.40a,**	121.46 ± 29.44a,**	134.17 ± 58.20a,**	131.73 ± 56.89a,**
Clorofila a (µg/L)				
Afluentes	38.40 ± 51.64a,*	32.59 ± 25.03a,*	47.37 ± 46.70a,*	20.96 ± 21.15a,*
Efluentes	79.93 ± 65.05a,**	75.99 ± 48.67a,**	60.59 ± 41.82a,*	74.09 ± 44.54a,**
DBO_5 (mg/L)				
Afluentes	11.4 ± 9.9a,*	9.1 ± 11.4a,*	11.8 ± 9.6a,*	6.8 ± 4.1a,*
Efluentes	14.2 ± 8.4a,*	12.9 ± 12.2a,*	14.3 ± 8.3a,*	12.5 ± 4.4a,*

Medias con igual letra no tienen diferencias significativas (a = 0.05) entre tratamientos.
*Medias con igual * no tienen diferencias significativas (a = 0.05) entre afluentes y efluentes*

seguido por la alimentación (36 y 47%) y fertilizantes (1 y 2%). En los trabajos realizados por Briggs y Funge-Smith (1994) y Couch (1998), el alimento fue el mayor ingreso de nitrógeno (76-92%) y fósforo (51-89%) como es el caso de cultivos de elevada densidad en nuestro estudio.

En general, todas las variables estudiadas -a excepción de clorofila *a*- presentaron elevadas concentraciones en las fuentes de agua (Tabla 2). Es por esto que se recomienda que las normativas de regulación ambiental deberían basarse en las diferencias de concentración de variables de calidad de agua entre afluentes y efluentes y no en un valor límite para los efluentes.

Un aumento significativo en la concentración de las variables estudiadas se observó en la descarga respecto a los afluentes; lo que demuestra el efecto negativo de los sistemas productivos sobre la calidad de agua (Tabla 2). Sin embargo, el bajo recambio de agua permitiría la metabolización de nutrientes dentro de los estanques de producción y la disminución de sólidos en suspensión. La baja tasa de recambio de agua y la elevada capacidad de asimilación de los estanques para el fósforo hace posible cultivar a densidades elevadas sin el riesgo de descargar excesivos nutrientes y causar eutroficación en los cuerpos de agua receptores. Puede ser necesario poner mayor atención en la cosecha cuando grandes cantidades de nutrientes y sólidos en suspensión podrían ser descargados. Además, este estudio demuestra la necesidad de corregir los excesivos esquemas de fertilización tal como observamos en los estanques sembrados a bajas densidades. Prácticas de manejo como el uso de estanques de sedimentación y tratamiento biológico (como remoción por macroalgas o moluscos) son aconsejables para disminuir el potencial impacto de los efluentes en algunos casos sobre el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

American Public Health Association (APHA), American Water Work Association, and Water Environment Federation. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. APHA, Washington D.C., EE.UU

Boyd C.E. 1985. Chemical budgets for channel catfish ponds. Transactions of the American Fisheries Society, 114:291-298.

Boyd C.E. 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Departamental Series Nº 2, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama, EE.UU.

Boyd C.E. y Y. Musig. 1981. Orthophosphate uptake by phytoplankton and sediment. Aquaculture 22:165-173.

Boyd C.E. y D. Teichert-Coddington. 1995. Dry matter, ash and elemental composition of pond culture *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris*. Journal of the World Aquaculture Society 26:88-92.

Boyd C.E. y C.S. Tucker. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwert Academic Publishers, Boston, EE.UU.

Briggs M. y S. Funge-Smith. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. Aquaculture and Fisheries Management 25:789-811.

Csavas, I. 1994. Important factor in the success of shrimp farming. World Aquaculture 25:34-56.

Cho C., J. Hynes, K. Wood, y H. Yoshida. 1994. Development of high-nutrient dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. Aquaculture 124:293-305.

Couch J. 1998. Characterization of water quality and a partial nutrient budget for experimental shrimp ponds in Alabama. Master Thesis, Auburn University, Alabama, EE.UU.

Gross, A., C.E. Boyd, R.T. Lorell, y J. Eya. 1998. Phosphorus budgets for channel catfish ponds receiving diets with different phosphorus concentration. Journal of the World Aquaculture Society 29(1):31-39.

Hargreaves, J. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166:181-212.

Lorenzen K., J. Struve, y V. Cowan. 1997. Impact of farming intensity and water management on nitrogen dynamics in intensive pond culture: a mathematical model applied to Thai commercial shrimp farms. Aquaculture Research 28:493-507.

Martin, J., Y. Veran, O. Guelorget, y D. Pham. 1998. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studies through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture 164: 135-149.

Olson, S. y L. Sommers. 1982. Phosphorus. Pages 401-430 *in* Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Eds. R. Miller y D. Keeney. Publishers American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc.

Pechar, L. 1987. Use of an acetone:methanol mixture for the extraction and spectrophotometric determination of chlorophyll *a* in phytoplankton. Archiv für Hydrobiologie Supplement 78:99-117.

Ritvo, G., J. Dixon, A. Lawrence, T. Samocha, W. Neill, y M. Speed. 1998. Accumulation of chemical elements in Texas shrimp ponds solids. Journal of the World Aquaculture Society 29(4):422-431.

Teichert-Coddington, D., D. Martinez y E. Ramírez. 2000. Partial nutrient budgets of semi-intensive shrimp farms in Honduras. Aquaculture 190:139-154.