

ALTERNATIVAS ECOTECNOLÓGICAS EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DERIVADAS DE LA ACUICULTURA Y LA PRODUCCIÓN ANIMAL

Raúl González Salas,¹ Oscar Romero Cruz,¹ Mildre Vidal del Río,³
y Jesús Trinidad Ponce-Palafox,²

¹ Centro de Estudio de Acuicultura, Universidad de Granma,
carretera a Manzanillo km 17, Apto. Postal 21, Bayamo,
Granma, 85100. Centro de Estudios de Producción Animal,
Universidad de Granma, E-mail: rgonzalezs@udg.co.cu

² IB–Universidad Autónoma del Estado de Morelos
y CBAP–Universidad Autónoma de Nayarit

³ Sede Universitaria Municipal, Jiguaní, Universidad de Granma.

RESUMEN

En los últimos años se ha acentuado la contaminación de los cuerpos de agua debido al manejo inadecuado de las aguas residuales de origen urbano, industrial y agrícola, especialmente en los países menos desarrollados. El desarrollo de alternativas ecotecnológicas mediante la utilización de plantas acuáticas tales como la Lenteja de agua, permite aprovechar recursos naturales en los efluentes y de esta forma depurar altas cargas de contaminantes provenientes de la producción animal doméstica y de la acuicultura, a su vez se generan grandes cantidades de biomasa con utilidad en la producción animal y riego de las plantaciones, evitándose con este círculo cerrado la contaminación de ríos y mares, por tal motivo se estudió la capacidad descontaminante de esta planta acuática en aguas residuales derivadas de instalaciones porcinas y acuícolas de la provincia Granma, observándose reducción de la concentración de nutrientes en cada cuerpo de agua con valores de 105-2 mg/L⁻¹ de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La concentración de amonio osciló entre 87-31 mg/L. La composición química de la Lenteja de agua mostró un elevado tenor de proteína (26,02-27,41 %).

Palabras clave: depuración, residuales, Lenteja de agua, DBO.

ABSTRACT

Water bodies have increasingly got polluted in the last years due to unappropriate management of wastewaters having urban, industrial and agricultural origen, especially in less Developer nations. Development of ecotechnological alternatives through the use of aquatic plants such as Lemna sp. allows making use of natural resources and thus purify high contaminating loads that are produced by cattle raising and agricultural refuses, generating at the same time large amounts of biomass that can be used for animal feeding and irrigation of plantations, avoiding thees the pollution of rivers and seas. For this reason the purifying qualities of this plant were studied in wastewaters spilled from swine raising installations from Granma Province, observing a reduction in the nutrients concentration in each water body with values of 105 to 2 mg/L⁻¹ of the biochemical oxigen demand (DBO) the

amonio concentration dropped among 87 to 31 mg/L-1 while the chemical composition of the *Lemna sp.* showed a high percentage of protein (26,02-27,41 %).

Key words: Purification, waste waters, *Lemna sp.*, DQO.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más importantes en las instalaciones porcinas es la producción de excretas con alta concentración de nutrientes (MINAGRI, 2001) y su disposición al medio, ya que constituyen un contaminante altamente agresivo que provoca el aumento de la concentración de fósforo y nitrógeno en las aguas y suelos, con el consiguiente efecto ambiental a largo plazo. (FAO, 2001) La producción de bióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) contribuye al efecto invernadero mundial. (Morales *et al.*, 2006). El afluente acuícola generalmente es muy disuelto y costoso de tratar, el agua procedente de los estanques de peces simplemente es descargada de regreso hacia la fuente original o hacia otro cuerpo de agua. Muchos países están preocupados por los efectos potenciales de contaminación y emiten regulaciones estrictas dirigidas al tratamiento de los afluentes de las granjas piscícolas.

Una alternativa para la disminución de apreciables volúmenes de nutrientes en las aguas y suelos es la producción de plantas acuáticas como la Lenteja de agua (*Lemna sp.*), la cual ha sido objeto de investigación por su capacidad de crecer rápidamente sobre aguas residuales y producir biomásas con alta concentración de proteínas. (Ponce-Palafox *et al.*, 2004)

El cultivo de las plantas acuáticas asociadas a las aguas de desecho de granjas porcinas y acuícolas tiene el doble propósito de depurar las aguas residuales y a la vez producir alimentos para los organismos terrestres y acuáticos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue estudiar la producción de la Lenteja de agua (*Lemna sp.*) asociada a su capacidad depuradora de aguas residuales en instalaciones porcinas y acuícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyó un sistema de 12 estanques rústicos para cada instalación productiva, con las siguientes dimensiones: 2 m de largo, 1 m de ancho y 0,4 m de profundidad, para un área total de espejo de agua de 2 m² cada uno. Se realizaron dos experimentos, el primero de enero-abril en áreas aledañas a una instalación porcina de la Universidad de Granma y el segundo de mayo-junio en la Estación de Alevinaje Acuípaso de la Provincia de Granma, para lo cual se sembraron en ambas etapas 200 g/m² de semilla de Lenteja de agua, fresca por estanque; se mantuvo un nivel de agua en los estanques a una altura de 0,30 m, para un volumen total por estanques de 0,6 m³.

En la primera etapa los estanques conteniendo *Lemna sp.* fueron surtidos de agua residual proveniente de la instalación porcina y en la segunda etapa recibieron agua procedente de estanques dedicados al cultivo de tilapia. Se evaluó el rendimiento de biomasa fresca de *Lemna sp.*, realizándose cosechas de forma manual en ambos experimentos cada 10 días (gm⁻²) con una densidad de siembra de 200 gm⁻². Las plantas se pesaron con una báscula marca High-32, después de haber transcurrido una hora de la cosecha, para su escurrimiento. El flujo de agua residual en cada una de las instalaciones fue regulado a 8,4 L/día.

Las variables climáticas determinadas en la etapa experimental fueron la temperatura (°C), humedad relativa (%), horas luz (h) y precipitación (mm) registradas diariamente por las estaciones meteorológicas del CITMA - Granma.

Para ambos experimentos se empleó un diseño completamente aleatorizado con 12 réplicas (estanques), evaluándose el efecto del período de producción de biomasa (meses) sobre la cosecha total, composición química y el rendimiento de nutrientes. Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto tiempo (meses) en la cosecha total, rendimiento de nutrientes y la composición química (materia seca, proteína, fibra, ceniza, calcio y fósforo). Se utilizó la prueba de Duncan para la comparación múltiple de medias para ($p \leq 0,05$) y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de las varianzas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa INFOSTAT, versión 1 (2001).

Al material de *Lemna* fresco se le realizó mensualmente el análisis proximal, determinándose el contenido de materia seca, proteína bruta, fibra bruta, ceniza, calcio y fósforo, de acuerdo con lo establecido en las normas de la AOAC (1995). Se le realizó el análisis físico-químico y microbiológico al agua de los estanques y la contenida en los canales de conducción de los residuales porcinos y acuícolas para evaluar los parámetros correspondientes al olor, presencia de nitritos, utilizándose el método del electrodo selectivo, la DQO, amonio total, fósforo total, fosfatos y coliformes totales según *Standard Methods of Analysis of water and wastewater*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación con las variables climáticas determinadas en el estudio se encontró que la temperatura tuvo un intervalo de variación de 26,1-28,2 °C, la humedad relativa de 74,3-83,9 el período de luz de 5,3-9,7 h y la precipitación de 0,0-101,6 mm, por lo que esta última variable es la que presentó la mayor variación durante el período experimental.

Experimento I

Los análisis de calidad química y microbiológica del agua residual de los estanques (Tabla 1) mostraron contenidos de amonio total que variaron de 4,28-1,09 mgL⁻¹, de fósforo total de 2,08-0,61 mgL⁻¹, no presentando olor ni color, aspecto que demuestra la capacidad de absorción de la Lenteja de agua, mientras que el análisis realizado al agua del canal de abastecimiento presentó valores de amonio total de 15,2 mgL⁻¹ con ausencia de color pero con olor pútrido. La concentración de coliformes totales encontrados en los diferentes estanques varió de 150-23 NMP/100 mL⁻¹, pero sin presencia de *Salmonella*.

Los valores de la DQO obtenidos se consideran dentro del intervalo reportado por Laboratorios Especializados (SMEWW, 1995) para este tipo de aguas, y por debajo de lo encontrado en algunas instalaciones porcinas de Cuba (Domínguez *et al.*, 1995) en las cuales los residuales líquidos y sólidos generados en la producción animal contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos con un valor de DQO de 261 mgL⁻¹.

Tabla 1. Composición promedio del agua residual de la unidad porcina antes y después de someterse a la acción de la Lenteja de agua a nivel de los estanques

Indicador	Por 100 kg de peso vivo	Residual porcino (Composición promedio al inicio del experimento mg L ⁻¹)	Residual porcino (Composición promedio al final del experimento mgL ⁻¹)
DQO	2,01	105,00	2,00
Amonio total	0,07	4,28	1,09
Fósforo total	0,04	2,08	0,61
Fosfatos (PO ₄)	0,02	1,07	0,23
Coliformes totales (NMP/100 mL ⁻¹)	-	150	23,0

La concentración de amonio total obtenida en esta investigación (4,28-1,09 mgL⁻¹) también es menor que lo reportado para aguas residuales provenientes de una granja porcina intensiva (12-19 mgL⁻¹) en el Suroeste de Asia, (Brunold y Suter, 2005) propiciándose de esta forma su posible reutilización en la agricultura.

Las variaciones existentes entre la composición química y el rendimiento de la Lenteja de agua estuvieron influenciadas por los factores climáticos, principalmente la influencia directa de las horas luz, las precipitaciones y los nutrientes presentes en el agua residual. (Ponce-Palafox *et al.*, 2004)

Delmendo (2007) destaca que estas plantas a la vez que son altas productoras de biomasa, depuran el cuerpo de agua donde se desarrollan. Además de los procesos físicos de remoción que pueden ocurrir (sedimentación), las plantas acuáticas sirven como sustrato, que ayuda a mantener la actividad microbiana, la cual contribuye a la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO), disminuyendo también el contenido de nitrógeno y fósforo.

El efecto del periodo de producción de biomasa (meses) tuvo influencia sobre el contenido de materia seca (Tabla 2), ya que en los meses de enero y abril se presentó mayor concentración de materia seca ($p < 0,05$) que en febrero y marzo. En general, se encontró una concentración de materia seca en la *Lemna sp.*, de 7,51-8,87 %, lo que está por encima de lo registrado (Pinto, 2000) para esta especie en otras condiciones (4,6-8 %).

Tabla 2. Composición química de la *Lemna sp.* (% BS)

Variables	Meses				ES	P
	Enero	Febrero	Marzo	Abril		
Materia Seca (%)	8,87 ^a	7,61 ^b	7,51 ^b	8,74 ^a	0,10	0,002 9
Proteína Bruta (%)	27,14 ^a	27,41 ^a	26,80 ^a	27,00 ^a	0,54	0,981 2
Ceniza (%)	12,50 ^b	11,76 ^a	13,82 ^a	13,94 ^a	0,24	0,035
Calcio (%)	4,85 ^a	4,92 ^a	4,51 ^a	4,64 ^a	0,17	0,83
Fósforo (%)	0,54 ^a	0,47 ^a	0,54 ^a	0,56 ^a	0,01	0,058

En las filas, medias (valores) con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$), según prueba de Duncan.

A pesar de no existir diferencias significativas para ($p < 0,05$) en el efecto del mes sobre las concentraciones de proteína bruta, se encontró un alto contenido de PB de 27,41 % en el mes de febrero. Al analizar el contenido de fibra bruta se encontraron concentraciones de 12,25-12,89 %, sin encontrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) durante el periodo de estudio. Estas concentraciones son inferiores a las reportadas para los principales pastos utilizados en la alimentación animal en Cuba, como *Brachiaria decumbens* con valores de fibra bruta entre 28-33 %. (Ramírez *et al.*, 2002)

En Vietnam la *Lemna* es cultivada comercialmente con base en un flujo permanente de nutrientes en el medio, derivados de aguas residuales, (Pedraza, 2005) aspecto que le confiere un carácter sostenible al flujo productivo, excepto en la parte central del país donde influye un clima seco, motivando que el nivel de agua en canales y estanques disminuya en estrecha relación con el aumento de la temperatura del agua.

Andersson (2002) señaló que es necesario crear algún sistema efectivo para el tratamiento de aguas que facilite la eliminación de sólidos y donde el contenido bacterial sea bajo para que se puedan utilizar estas aguas tratadas en el riego de los cultivos, huertos y otras actividades agrícolas. Algunas plantas acuáticas por su capacidad para captar determinados metales pesados y otros elementos en medios con alta carga orgánica, permiten purificar en alto grado las aguas contaminadas por la agricultura y la industria.

Experimento II

El resultado de los análisis de la calidad química realizados al agua de la presa Paso Malo, al canal de conducción hacia la Estación de Alevinaje y a los estanques utilizados para el cultivo de tilapia se muestran en la tabla 3. Los elementos estudiados se encuentran dentro del rango normal; el contenido de amonio total tuvo una variación de 0,035-0,028 mgL^{-1} , el nitrato de 0,03-0,02 mgL^{-1} , se aprecian además valores de nitritos entre 0,012-0,001 y fosfatos de 1,16-1,04, no presentando olor ni color, mientras que el análisis realizado al agua de los estanques experimentales presentó valores reducidos de amonio total de 0,017 mgL^{-1} , nitrato de 0,01 mgL^{-1} , nitritos de 0,01 y fosfatos de 0,54 mgL^{-1} . Los valores de DQO oscilaron entre 3,18-4,02 mg/L^{-1}

Tabla 3. Composición promedio del agua residual de una instalación acuícola

Muestra / indicador	DQO (mg/L)	Amonio total (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
Presa Paso Malo	3,18	0,035	0,03	0,012	1,16
Canal de distribución a la EAA* y estanques de peces	3,09	0,028	0,02	0,001	1,04
Estanques depuradores (Lenteja)	4,02	4,02	0,01	0,01	0,54

*EAA = Estación de Alevinaje Acuipaso

La composición química de la *Lemna sp.* (Tabla 4), muestra que no existió una influencia significativa ($p < 0,05$) del período de producción de biomasa (meses) sobre la composición química. Sin embargo, Amado *et al.* (2007) plantean que la composición química de esta planta acuática guarda relación con el balance de nutrientes presentes en el efluente y el manejo del cultivo.

Tabla 4. Composición química de la *Lemna sp.* (% BS)

Tabla 4. Composición química de la <i>Lemna sp.</i> (% BS) Variables	Meses		ES	p
	Mayo	Junio		
Materia seca (%)	6,87	6,95	0,27	0,88
Proteína bruta (%)	26,16	26,02	0,37	0,86
Fibra bruta (%)	12,05	11,67	0,46	0,69
Ceniza (%)	14,70	16,17	0,79	0,31
Calcio (%)	5,24	5,04	0,26	0,70
Fósforo (%)	0,52	0,48	0,11	0,58

La capacidad de asimilación de los nutrientes por las plantas acuáticas está directamente relacionada con la velocidad de crecimiento, la población establecida y la composición del tejido de las plantas. A su vez, esta capacidad de asimilación de nutrientes determina la importancia de la planta como agente descontaminante de las aguas y como productor de biomasa para la alimentación animal. (Waha *et al.*, 2005)

Silva y de Queiroz (2004) señalaron que los estanques con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores.

CONCLUSIONES

1. La Lenteja de agua cultivada en estanques o canales tiene la función de retener la materia orgánica del agua residual que atraviesa los mismos, resultando los nutrientes elementos asimilables por las plantas.
2. El incremento de la tasa de rendimiento y producción de biomasa de la Lenteja de agua es directamente proporcional a la disponibilidad de nutrientes en el medio.
3. La Lenteja de agua presenta mayor velocidad de crecimiento en cuerpos de agua saturados por cantidades variables de nitrógeno y fósforo.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la Lenteja de agua en sistemas depuradores de aguas residuales porcinas y acuícolas.
2. Desarrollar estudios en condiciones tropicales acerca de la capacidad de biotransformación de la materia orgánica de la Lenteja de agua.
1. Realizar bioensayos que permitan conocer la densidad óptima de esta planta acuática en el proceso de depuración de aguas residuales y los niveles de contaminantes que producen la inhibición de su crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (1995): Official methods of analysis, Ass. Off. Agric. Chem. 16th ed., Washington D. C., USA.
- Anderson, T. (2002): Significance of foliar nutrient absorption in nutrient-rich low-light environments – as indicated by *Mercuriales perennis*. *Flora*, 187: 429-433.
- Amado, R.; R. Muller-hiemeyer and U. Marti (2007): “Proteinghalt, Amino Sause Zusan mesente und und neutralzucker gehalf von *lemna celh*” biosystematische Untersuchungen in del familia der wasserlingen (*Lemnaceal*), Ed. *Blandolt*, vol. 1, ETH. Zurich.
- Brunold, C. and M. Suter (2005): Regulation of sulfate assimilation by nitrogen nutrition in the duckweed *Lemna minor* L. *Plant Physiol.*, 76: 579-583.
- Delmendo, M. N. (2007): A review of integrated livestock – fowl – fishfarming systems in: *lemna sp.* un recurso valióso para el trópico, vol. V, No. 2. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> Consultado, marzo, 2008.
- FAO (2001): Recycling or organic wastes in agriculture. Report of the FAO study tour to the People’s Republic of China. FAO. Soils Bulleting Roma, 7 pp.
- INFOSTAT (2001): Sotfware Estadístico. Manual del usuario. Versión 1. Córdoba, Argentina.
- Morales, K. y otros (2006): El pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna sp.* *Revista de la Facultad de Agronomía, Maracaibo mar, LUZ*, 23(1).
- MINAGRI (2001): Manual de crianza porcina, Instituto de Investigaciones Porcinas, Cuba, p. 48.
- Pinto, S. L. (2000): Producción de las plantas acuáticas *lemna minor* y *Azolla filiculoides* y su uso conjuntamente con la harina de pescado en raciones para cerdos. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, UCV, Maracay, Venezuela.
- Ramírez, J. L.; I. Leonard, C. Kijora y B. López (2002): Efecto de la edad de rebrote y la época, en el comportamiento de la proteína bruta y la fibra, en el pasto *Brachiaria decumbens*, *Medicina Veterinaria*, 20: 1-4.

- Standard Methods of Examinations of water and wastewater. 19th ed., EE.UU: American Public Health Association, 1995. NORMA CUBANA NC 38-02-07. *Contaminantes microbiológicos*. Regulaciones.**
- SMEWW (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 19 ed., New York, pp. 5-12.**
- Silva, J. y A. C. de Queiroz (2004): Determinación de fósforo y calcio inorgánico total. Análisis de alimentos. Métodos químicos y biológicos, Ed. UFV, Universidad Federal de Viscosa, Brasil, pp. 169-224.**
- Pedraza, G. (2005): Experiencias de un sistema de descontaminación de agua basado en organismos y plantas acuáticas. Informe Final: Proyecto Ecofondo. CIPAV.**
- Ponce, P. J. y otros (2004): Estrategias para el aprovechamiento de las hidrófitas en el cultivo de peces, REDVET, vol. 5, No 2. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n020204.html>**
- Waha, B.; H. F. Diara, I. Watanabe and C. Van Hove (2005): Assesement and attempt to explain the high performance of Azolla in subdesertic tropics. *Plant Soil*, 137(1): 145-150.**