

**PRODUCCIÓN DE LA MACRÓFITA ACUÁTICA *Lemna perpusilla*  
UTILIZANDO AGUA RESIDUAL DE UNA INSTALACIÓN PORCINA,  
CON PROPÓSITOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA PARA  
ACUACULTURA**

**PRODUCTION OF AQUATIC MACROPHYTE *Lemna perpusilla*  
USING WASTEWATER FROM A PIG FARM, FOR PURPOSES OF  
BIOMASS PRODUCTION FOR AQUACULTURE**

Pablos Reyes DP<sup>1</sup>, González Salas R<sup>2</sup>, Romero Cruz O<sup>2</sup>, Ponce-Palafox JT<sup>3,4</sup>,  
Peillón Verdecía O<sup>2</sup>, Castillo-Vargasmachuca S<sup>3</sup>, Ruiz-Luna A<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Delegación Provincial CITMA. La Habana, Cuba. <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria.  
Universidad de Granma, Bayamo, Granma Cuba.

<sup>3</sup>Centro Nayarita de Innovación y Desarrollo Tecnológico A.C., y Unidad Académica de la Escuela Nacional  
de Ingeniería Pesquera. Universidad Autónoma de Nayarit-Posgrado CBAP. Tepic, Nayarit, México.

<sup>4</sup>CIAD A.C. Unidad Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa, México.

## Resumen

Una problemática ambiental importante en instalaciones porcinas es la producción de excretas con alta concentración de nutrientes y su deposición en el ecosistema. Una alternativa para la biorremediación de dicha problemática es utilizar las excretas para la producción de plantas acuáticas que tengan una alta tasa de captación de nutrientes, tal como *Lemna perpusilla*. En el presente estudio se desarrollaron dos experimentos con el objetivo de estudiar el efecto de la época del año y el tiempo de cosecha sobre la biomasa, composición química y el rendimiento de nutrientes. En el experimento I (enero a abril) se utilizó una dosis de fertilización de 20 Lm<sup>-2</sup> por cada 20 días y se manejó una densidad de siembra de 200 gm<sup>-2</sup>, realizando cosechas cada 10 días. Mientras que en el experimento II (mayo a junio) se utilizó la misma dosis de fertilización y densidad de siembra, pero cosechando cada seis días. Durante el desarrollo experimental (enero-junio) *Lemna perpusilla* presentó bajo

contenido de materia seca (6.87 a 8.87%) y fibra (11.67 a 12.89%), pero alto contenido de proteína (26.02 a 27.41%). Se determinó que la época y tiempo de cosecha afectan significativamente la cosecha total, composición química y rendimiento de nutrientes. Las variables climáticas que más influyeron sobre la cosecha total fueron las horas luz y precipitación. Mientras que el rendimiento en nutrientes es principalmente afectada por la temperatura, humedad relativa, horas luz y precipitación.

**Palabras clave:** Plantas acuáticas, rendimiento, biomasa, composición química, instalación porcina.

## Abstract

A major environmental problem in pig farm is the production of pig manure with high concentrations of nutrients and its deposition in the adjacent ecosystem. An alternative for the

### Autor correspondal:

Ponce Palafox JT, Centro Nayarita de Innovación y Desarrollo Tecnológico A.C., y Unidad Académica de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. Universidad Autónoma de Nayarit- posgrado CBAP, domicilio conocido, Bahía de Matanchén, C.P. 63740, San Blas, Nayarit, México. Tel. (323) 2312120, Correo electrónico: [jesus.ponce@usa.net](mailto:jesus.ponce@usa.net)

bioremediation of this problem is to use these for the production of aquatic plants that have a high rate of uptake of nutrients, such as *Lemna perpusilla*. In this study, two experiments were developed with the aim of studying the effect of season and harvest time on the biomass, chemical composition and yield of nutrients. In experiment I (january to april) used a fertilization rate of 20 Lm<sup>-2</sup> for every 20 days and managed a density of 200 gm<sup>-2</sup>, making harvests every 10 days. While in experiment II (may-june) used the same dose of fertilizer and planting density, but picking every six days. During the experimental development (january-june) *L. perpusilla* had low dry matter (6.87 to 8.87%) and fiber (11.67 to 12.89%), but high in protein (26.02 to 27.41%). It was determined that the time and harvest time affect significantly the total harvest, chemical composition and yield of nutrients. The most influential climatic variables on the total harvest were as light and precipitation. The nutrient performance is mainly affected by temperature, relative humidity, daylight hours and precipitation.

**Key words:** Aquatic plants, yield, biomass, chemical composition, pig farm.

## Introducción

En las instalaciones porcinas una problemática ambiental relevante es la alta producción de excretas con altos niveles de nutrientes, que son vertidas en los cuerpos de agua receptores y que constituyen un foco de contaminación, sobre el agua y suelo de las zonas ubicadas alrededor de esta industria (Pérez, 1997; FAO, 2001).

Una alternativa para limitar el aumento de nutrientes en el agua y suelo de la industria porcina es la producción de plantas acuáticas. El cultivo de las plantas acuáticas asociado al agua de desecho en granjas porcinas puede tener doble propósito, por un lado depurar el agua residual y por el otro producir biomasa para la alimentación de organismos terrestres y acuáticos. Entre las plantas acuáticas que se cultivan en América Latina con potencial para cumplir con los

dos propósitos se encuentran la *Azolla* y la *Lemna* (Ponce-Palafox *et al.*, 2004), principalmente en la alimentación de organismos acuáticos.

Se ha determinado que la tecnología para cultivar en agua residual porcina a *Lemna perpusilla* es bastante competitiva y su relación costo-beneficio puede resultar atractivo para medianos y grandes productores (Martínez, 2000). La planta *Lemna perpusilla* ha sido objeto de varios estudios por su capacidad de crecer rápidamente sobre aguas residuales y producir biomasa con alta concentración de proteínas. Además, esta planta ha sido utilizada en dietas para patos, peces, camarones (Leng *et al.*, 1995; Ponce-Palafox *et al.*, 2004) y cerdos (Mesa, 2000; Domínguez *et al.*, 2001; Preston y Leng, 2003). Por lo cual, el objetivo del presente estudio fue investigar el potencial productivo y la composición química de la planta acuática *Lemna perpusilla* cultivada en agua residual de una unidad porcina bajo diferentes épocas del año y tiempos de cosecha.

## Material y métodos

### Diseño experimental

Se desarrollaron dos experimentos con el objetivo de estudiar el rendimiento y la composición química de la planta *Lemna perpusilla* cultivada a partir de agua residual porcina. Se utilizaron 12 estanques rústicos construidos en un suelo clasificado como vertisol. Las dimensiones de cada estanque fueron de 2 m de largo, 1 m de ancho y 0.4 m de profundidad (2 m<sup>2</sup>). La pérdida de agua, producto de la evaporación y transpiración de las plantas se recuperaba diario (10%).

En el experimento I (enero a abril) se utilizó una dosis de fertilización con residual porcino (composición promedio: NT 4.28; PT 2.08; SST 33.58 y Grasas 8.04 mgL<sup>-1</sup>) de 20 Lm<sup>-2</sup> cada 20 días y se manejó una densidad de siembra de 200 gm<sup>-2</sup> de semilla de *Lemna perpusilla* fresca por estanque, realizando cosechas parciales (10% del total) manuales cada 10 días (gm<sup>-2</sup>) y cosecha total por mes (gm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup>) para evaluar

el rendimiento y composición química de la planta. Mientras que en el experimento II (mayo a junio) se utilizó la misma dosis de fertilización y densidad de siembra por estanque, pero cosechando cada seis días ( $\text{gm}^{-2}$ ) y cosecha total por mes ( $\text{gm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ). Las plantas fueron pesadas con una báscula marca High-32 (precisión  $0.0\pm 1$  g), posterior a dejarse escurrir por una hora después de la cosecha. Al material de *Lemna perpusilla* fresco se le realizó mensualmente un análisis proximal, para determinar el contenido de materia seca, proteína, fibra, ceniza, calcio y fósforo, de acuerdo a lo establecido en las normas de la A.O.A.C (1980).

En la unidad experimental se determinaron diariamente la temperatura ambiental, humedad relativa, horas luz y precipitación, obteniendo la información de la estación meteorológica de Cabo Cruz, Niquero, Granma, Cuba.

En el agua de cada uno de los estanques y de la zanja que contenía los residuales porcinos se determinaron nitritos, cloruros, coliformes totales y *Salmonella* de acuerdo a las técnicas descritas por Arredondo y Ponce-Palafox (1998) para la calidad del agua de estanques. Además, en el agua de la zanja que contenía los residuales porcinos se le evaluó el color mediante colorimetría óptica y el olor (olfato). Una vez concluida la

etapa experimental, los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza de una vía, para determinar el efecto del periodo de cosecha sobre el rendimiento y composición química de la planta. Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias para ( $p < 0.05$ ) y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de las varianzas (Montgomery, 1997). Se realizó un análisis de regresión múltiple empleando el método paso a paso, con el objetivo de determinar la influencia de parámetros ambientales (temperatura, humedad relativa, horas luz y precipitaciones) sobre la cosecha total, la composición química (materia seca, proteína, fibra, ceniza, calcio, fósforo) y el rendimiento de materia seca, proteína, fibra, ceniza, calcio y fósforo de la planta. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa STATISTICA, versión 7 (2008).

## Resultados y Discusión

### Variables climáticas

Dentro de las variables climáticas (Tabla 1) la temperatura se mantuvo en un intervalo de variación medio de  $26.5$  a  $27.4^\circ\text{C}$ , la humedad relativa entre  $75.6$  a  $82.0\%$ , el periodo de luz de entre  $6.2$  y  $8.8$  horas y, la precipitación pluvial entre  $4.4$  y  $59.5$  mm. La mayor variación se presentó en la precipitación pluvial.

**Tabla 1.**  
**Comportamiento de los parámetros climáticos durante el desarrollo del experimento<sup>a</sup>.**

Variables	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	$27.4\pm 0.7$	$27.3\pm 0.5$	$26.7\pm 0.8$	$26.8\pm 0.3$	$27.1\pm 0.3$	$26.5\pm 0.5$
Humedad (%)	$82.0\pm 1.5$	$80.3\pm 1.8$	$78.9\pm 0.5$	$77.6\pm 0.8$	$75.6\pm 1.4$	$78.9\pm 0.7$
Horas Luz (h)	$6.2\pm 0.8$	$6.7\pm 1.9$	$8.7\pm 0.9$	$8.8\pm 0.8$	$7.0\pm 1.9$	$6.5\pm 2.7$
Precipitación (mm)	$10.2\pm 5.9$	$47.5\pm 27.4$	$4.4\pm 1.9$	$67.2\pm 37.7$	$59.5\pm 53.0$	$32.4\pm 39.5$

<sup>a</sup>Concentraciones promedio  $\pm$  Desviación estándar.

## Experimento I

Los análisis físico-químicos del agua residual depositada en los estanques para cultivar la planta *L. perpusilla* presentaron una concentración de cloruros y nitritos que varió de 155 a 181 (MED=171.1±12.5) y de 0 a 0.25 mgL<sup>-1</sup> (MED=0.066±0.122), respectivamente, en ningún caso se registró olor o color. Mientras que en la zanja el residual porcino presentó 200 mgL<sup>-1</sup> de cloruros, con ausencia de color pero con olor pútrido. La concentración de coliformes totales (CT) registrada en los diferentes estanques varió de 23 a 1,100 UFC 100 mL<sup>-1</sup>. Mientras que en la zanja se registro un valor de 1,100 UFC mL<sup>-1</sup>. En ningún caso se registró la presencia de *Salmonella*.

La relación tiempo de cultivo-cosecha tuvo un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el rendimiento en fresco de la planta *L. perpusilla*, ya que después de tres meses de cultivo y cosechas cada diez días disminuyó alrededor de un 23% el rendimiento en fresco de 2,701.04 a 2,080.42 gm<sup>-2</sup> (Tabla 2). En cuanto a materia seca se encontró un rendimiento similar al observado en el rendimiento en fresco y, conforme aumenta el periodo de cultivo-cosechas disminuyó el rendimiento significativamente ( $p < 0.05$ ), obteniéndose la menor concentración (181.75 gm<sup>-2</sup>) en el mes de abril. Con respecto al rendimiento por mes, en todos los estanques los mejores rendimientos se registraron en la tercera cosecha.

**Tabla 2.**  
**Rendimiento en fresco y de materia seca de la planta acuática *Lemna perpusilla* cultivada en estanques con residual porcino (Experimento I)<sup>a</sup>.**

Variables	Meses			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril
<b>Materia Fresca (gm<sup>-2</sup>)</b>				
Cosecha 1	809.37 <sup>a</sup>	858.75 <sup>a</sup>	884.16 <sup>a</sup>	721.28 <sup>b</sup>
Cosecha 2	832.50 <sup>a</sup>	895.50 <sup>a</sup>	915.00 <sup>a</sup>	716.25 <sup>b</sup>
Cosecha 3	1,059.17 <sup>a</sup>	977.50 <sup>a</sup>	927.50 <sup>a</sup>	642.92 <sup>b</sup>
Cosecha Total	2,701.04 <sup>a</sup>	2,731.66 <sup>a</sup>	2,726.66 <sup>a</sup>	2,080.42 <sup>b</sup>
<b>Materia Seca (gm<sup>-2</sup>)</b>				
Cosecha 1	71.82 <sup>a</sup>	65.37 <sup>b</sup>	66.40 <sup>b</sup>	63.01 <sup>b</sup>
Cosecha 2	73.87 <sup>a</sup>	68.17 <sup>a</sup>	68.72 <sup>a</sup>	62.58 <sup>b</sup>
Cosecha 3	93.98 <sup>a</sup>	74.42 <sup>b</sup>	69.65 <sup>b</sup>	56.16 <sup>c</sup>
Cosecha Total	239.67 <sup>a</sup>	207.97 <sup>b</sup>	204.77 <sup>b</sup>	181.75 <sup>c</sup>

En las filas, los valores (promedios) con letras diferentes presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Prueba de Tukey).

El periodo de producción (meses) afectó el contenido de materia seca, ya que en los meses de enero y abril se presentó mayor concentración de materia seca ( $p < 0.05$ ) que en febrero y marzo. La concentración de materia seca varió de 7.51 a 8.87%, lo que es superior al registrado para esta especie en otras condiciones de cultivo (4.6 a 8.0%) (Leng *et al.*,

1994; Pinto, 2000). Sin embargo, este contenido de materia seca representa un inconveniente para el uso de esta planta en su estado fresco, ya que encarece la cosecha, transporte y por consiguiente su uso como alimento animal (Ruiz, 1998), situación que podría cambiar al deshidratar la planta.

La concentración de proteína, fibras, ceniza, fósforo y calcio de la *Lemna perpusilla* varió significativamente ( $p < 0.05$ ) con respecto al tiempo de cultivo (Tabla 3). La mayor concentración de proteína se registró en el mes de enero ( $65.05 \text{ gm}^{-2} = 27.4\%$ ), el cual es superior a las concentraciones registradas en pastos y forrajes utilizados para la alimentación animal (6 a 12%) (Lumpkin y Plucknett, 1982). Aunque, el intervalo de los niveles de proteína encontrados en la *Lemna* fresca por diferentes autores es amplio (12 a 43%) (Lumpkin y Plucknett, 1982; Ponce-Palafox *et al.*, 2004).

El mayor rendimiento de fibra se presentó en el mes de enero ( $30.02 \text{ gm}^{-2}$ ). Estas concentraciones son inferiores a las reportadas para los principales pastos utilizados en la alimentación animal en Cuba, lo cual se considera de gran importancia por la repercusión de este nutriente para el consumo voluntario y digestibilidad de los animales, sobre todo de los monogástricos terrestres y acuáticos, por lo que se puede ver afectado el valor nutritivo de los alimentos. El rendimiento de cenizas, calcio y fósforo presentó un patrón similar al observado en proteína y fibra.

**Tabla 3.**  
**Concentración de proteína, fibras, ceniza, fósforo y calcio de la *Lemna perpusilla* cultivada en estanques con residual porcino (Experimento I)**

Variables		Meses			
		Enero	Febrero	Marzo	Abril
Rendimiento Proteína ( $\text{gm}^{-2}$ )	Cosecha 1	19.49 <sup>a</sup>	17.92 <sup>b</sup>	17.79 <sup>b</sup>	17.01 <sup>b</sup>
	Cosecha 2	20.69 <sup>a</sup>	18.69 <sup>b</sup>	18.41 <sup>b</sup>	16.89 <sup>c</sup>
	Cosecha 3	25.51 <sup>a</sup>	20.40 <sup>b</sup>	18.66 <sup>b</sup>	15.16 <sup>c</sup>
	Cosecha total	65.05 <sup>a</sup>	57.02 <sup>b</sup>	54.87 <sup>b</sup>	49.08 <sup>b</sup>
Rendimiento de Fibra ( $\text{gm}^{-2}$ )	Cosecha 1	8.99 <sup>a</sup>	8.32 <sup>a</sup>	8.56 <sup>a</sup>	7.71 <sup>b</sup>
	Cosecha 2	9.25 <sup>a</sup>	8.68 <sup>b</sup>	8.86 <sup>b</sup>	7.66 <sup>c</sup>
	Cosecha 3	11.77 <sup>a</sup>	9.48 <sup>b</sup>	8.98 <sup>b</sup>	6.88 <sup>c</sup>
	Cosecha total	30.02 <sup>a</sup>	26.49 <sup>b</sup>	26.40 <sup>b</sup>	22.26 <sup>c</sup>
Rendimiento Ceniza ( $\text{gm}^{-2}$ )	Cosecha 1	8.97 <sup>a</sup>	7.68 <sup>b</sup>	9.17 <sup>a</sup>	8.78 <sup>a</sup>
	Cosecha 2	9.23 <sup>a</sup>	8.02 <sup>b</sup>	9.49 <sup>a</sup>	8.73 <sup>b</sup>
	Cosecha 3	11.75 <sup>a</sup>	8.75 <sup>b</sup>	9.63 <sup>b</sup>	7.83 <sup>b</sup>
	Cosecha total	30.02 <sup>a</sup>	24.46 <sup>b</sup>	28.31 <sup>ab</sup>	25.35 <sup>b</sup>
Rendimiento de Calcio ( $\text{gm}^{-2}$ )	Cosecha 1	3.48 <sup>a</sup>	3.21 <sup>a</sup>	2.99 <sup>ab</sup>	2.92 <sup>b</sup>
	Cosecha 2	3.58 <sup>a</sup>	3.35 <sup>a</sup>	3.09 <sup>b</sup>	2.91 <sup>b</sup>
	Cosecha 3	4.56 <sup>a</sup>	3.66 <sup>b</sup>	3.14 <sup>bc</sup>	2.61 <sup>c</sup>
	Cosecha total	11.63 <sup>a</sup>	10.23 <sup>b</sup>	9.23 <sup>bc</sup>	8.44 <sup>c</sup>
Rendimiento de Fósforo ( $\text{gm}^{-2}$ )	Cosecha 1	0.38 <sup>a</sup>	0.31 <sup>a</sup>	0.36 <sup>a</sup>	0.36 <sup>a</sup>
	Cosecha 2	0.39 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.37 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>
	Cosecha 3	0.51 <sup>a</sup>	0.35 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>
	Cosecha total	1.29 <sup>a</sup>	0.98 <sup>b</sup>	1.11 <sup>b</sup>	1.03 <sup>b</sup>

En las filas, los valores (promedios) con letras diferentes presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; prueba de Tukey).

La variación en la composición química y el rendimiento entre cosechas parciales (3 cosechas) y totales estuvo influenciada por los factores climáticos, lo cual ya ha sido reportado en Cuba (Domínguez, 2002) y México (Ponce-Palafox *et al.*, 2004), donde se ha encontrado que estas variaciones dependen de los factores climáticos, disponibilidad de nutrientes (principalmente el nitrógeno) y densidad de plantas. En el lirio acuático se encontró que la variación de la producción depende del lugar donde crece la planta, cambios estacionales y condiciones del agua de cultivo (Shi, 2000). En general se encontró que la precipitación tuvo un efecto negativo sobre la cosecha total y la fibra. Las horas de luz tuvieron un efecto negativo sobre la cosecha total, proteína, fibra y calcio. La temperatura y la humedad relativa afectaron la concentración de cenizas. La combinación de las temperatura, humedad relativa, horas de luz y precipitación tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) directamente proporcional sobre la proteína, ceniza y calcio.

En cuanto a las variables de rendimiento de materia seca, proteína, fibra, cenizas, calcio y fósforo, se observó un efecto positivo de la humedad relativa, horas luz y precipitación pluvial, presentándose los valores más altos en las horas de luz. Se ha determinado que cuando una planta está expuesta a periodos muy largos de luz, aumenta la fotosíntesis hasta un punto que comienza a producir estrés y, la planta para evitar la pérdida de agua y líquidos celulares cierra los estomas, limitando la entrada de  $CO_2$ , con la consecuente disminución del crecimiento de la planta y por tanto la producción. Las variables climáticas que más afectaron la cosecha total, composición química y rendimiento de nutrientes fueron las horas luz y precipitación. La temperatura no efecto significativamente dichas variables.

## Experimento II

Los análisis físico-químicos del agua residual de los estanques mostraron contenidos de cloruros y nitritos de 137 a 164 y de 0.008 a 0.25  $mgL^{-1}$ , respectivamente, sin presentar olor ni color. Mientras que el análisis realizado al agua de la zanja presentó concentraciones de cloruro de 195  $mgL^{-1}$  con ausencia de color pero con olor pútrido. La concentración de coliformes en los diferentes estanques varió de 98 a 910  $ufc/100 mL^{-1}$  y, la de la zanja presentó una concentración de 110  $UFCmL^{-1}$ . En ninguno de los casos se registró la presencia de *Salmonella*.

El análisis proximal de *Lemna perpusilla* no mostró un efecto significativo del periodo de producción (mayo-junio) sobre materia seca ( $6.91 \pm 0.05\%$ ), proteína ( $26.1 \pm 0.09\%$ ) fibra ( $11.9 \pm 0.27\%$ ), cenizas ( $15.4 \pm 1.0\%$ ), calcio ( $5.14 \pm 0.14\%$ ) y fósforo ( $0.5 \pm 0.03\%$ ), ya que no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los meses con relación a la composición química de la planta.

El rendimiento en fresco y materia seca de *Lemna perpusilla* por cosecha parcial (cada 6 días) y cosecha total por meses en la época lluviosa mostró que el mayor volumen de producción del material fresco ( $2,531.66 gm^{-2}$ ) se obtiene en mayo (Tabla 4). La cosecha uno a los seis primeros días es la de mejor rendimiento para los meses de mayo y junio ( $990.0$  y  $533.33 gm^{-2}$ , respectivamente). Se presentó una interacción significativa ( $p < 0.05$ ) entre los meses sobre las cosechas parciales (1, 2, 3, 4) y total. El mes de mayo es cuando se presenta el mayor rendimiento de materia seca ( $174.13 gm^{-2}$ ).

**Tabla 4.**  
**Rendimiento en fresco y materia seca de la planta acuática *Lemna perpusilla* cultivada en estanques con residual porcino (Experimento II)**

Variables	Meses	
	Mayo	Junio
Rendimiento fresco (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	990.00 <sup>a</sup>	533.33 <sup>b</sup>
Cosecha 2	330.24 <sup>a</sup>	233.33 <sup>b</sup>
Cosecha 3	455.00 <sup>a</sup>	279.16 <sup>b</sup>
Cosecha 4	468.75 <sup>a</sup>	293.33 <sup>b</sup>
Cosecha 5	287.50 <sup>a</sup>	293.75 <sup>a</sup>
Cosecha Total	2,531.66 <sup>a</sup>	1,632.92 <sup>b</sup>
Rendimiento de materia seca (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	68.09 <sup>a</sup>	37.11 <sup>b</sup>
Cosecha 2	22.73 <sup>a</sup>	16.24 <sup>b</sup>
Cosecha 3	31.29 <sup>a</sup>	19.43 <sup>b</sup>
Cosecha 4	32.24 <sup>a</sup>	20.41 <sup>b</sup>
Cosecha 5	19.77 <sup>a</sup>	20.44 <sup>a</sup>
Cosecha Total	174.13 <sup>a</sup>	133.62 <sup>b</sup>

En las filas, los valores (promedios) con letras diferentes presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Prueba de Tukey).

Los rendimientos de proteína, ceniza, calcio y fósforo de *Lemna perpusilla*, presentaron una mayor concentración en la cosecha to-

tal del mes de mayo, con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las cosechas parciales (1, 2, 3, 4 y 5) y totales de ambos meses (Tabla 5).

**Tabla 5.**  
**Rendimiento de proteína, fibra, ceniza, fósforo y calcio de la *Lemna perpusilla* cultivada en estanques con residual porcino (Experimento II)**

Variables	Meses	
	Mayo	Junio
Rendimiento de proteína (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	17.82 <sup>a</sup>	9.66 <sup>b</sup>
Cosecha 2	5.94 <sup>a</sup>	4.22 <sup>b</sup>
Cosecha 3	8.18 <sup>a</sup>	5.05 <sup>b</sup>
Cosecha 4	8.44 <sup>a</sup>	5.31 <sup>b</sup>
Cosecha 5	5.17 <sup>a</sup>	5.32 <sup>a</sup>
<b>Cosecha Total</b>	<b>45.56<sup>a</sup></b>	<b>29.57<sup>b</sup></b>
Rendimiento de fibra (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	8.21 <sup>a</sup>	4.33 <sup>b</sup>
Cosecha 2	2.74 <sup>a</sup>	1.89 <sup>b</sup>
Cosecha 3	3.77 <sup>a</sup>	2.26 <sup>b</sup>
Cosecha 4	3.88 <sup>a</sup>	2.38 <sup>b</sup>
Cosecha 5	2.36 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>
<b>Cosecha Total</b>	<b>20.99<sup>a</sup></b>	<b>13.26<sup>b</sup></b>
Rendimiento de ceniza (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	10.01 <sup>a</sup>	6.0 <sup>b</sup>
Cosecha 2	3.34 <sup>a</sup>	2.62 <sup>a</sup>
Cosecha 3	4.6 <sup>a</sup>	3.14 <sup>b</sup>
Cosecha 4	4.7 <sup>a</sup>	3.3 <sup>b</sup>
Cosecha 5	2.9 <sup>a</sup>	3.3 <sup>b</sup>
<b>Cosecha Total</b>	<b>25.69<sup>a</sup></b>	<b>18.38<sup>b</sup></b>
Rendimiento de calcio (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	3.57 <sup>a</sup>	1.87 <sup>b</sup>
Cosecha 2	1.19 <sup>a</sup>	0.82 <sup>b</sup>
Cosecha 3	1.64 <sup>a</sup>	0.98 <sup>b</sup>
Cosecha 4	1.69 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>
Cosecha 5	1.04 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>
<b>Cosecha Total</b>	<b>9.13<sup>a</sup></b>	<b>5.74<sup>b</sup></b>
Rendimiento de fósforo (gm <sup>-2</sup> )		
Cosecha 1	0.35 <sup>a</sup>	0.17 <sup>b</sup>
Cosecha 2	0.11 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>
Cosecha 3	0.16 <sup>b</sup>	0.93 <sup>a</sup>
Cosecha 4	0.16 <sup>b</sup>	0.98 <sup>a</sup>
Cosecha 5	0.103 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>
<b>Cosecha Total</b>	<b>13.24<sup>a</sup></b>	<b>7.86<sup>b</sup></b>

En las filas, los valores (promedios) con letras diferentes presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Prueba de Tukey).



El análisis del efecto de las variables climáticas sobre la cosecha total, composición química y rendimiento de nutrientes (Tabla 6), mostró un efecto significativo de las horas

luz sobre la cosecha total. En relación con el contenido de materia seca, se observó un efecto negativo de la temperatura, precipitación y humedad relativa.

**Tabla 6.**  
**Efecto de las variables climáticas sobre la cosecha total, composición química y rendimiento de nutrientes de la planta acuática *Lemna perpusilla* cultivada en estanques con residual porcino (Experimento II)**

Variables (g/m <sup>2</sup> )	Intercepto	Temperatura (a)	Humedad relativa (b)	Horas luz (c)	Precipitación (d)	ES	r <sup>2</sup>
Cosecha Total	-938.601*	-	-	133.9*	-	66.68	0.65
Materia seca	5.953*	- 0.0108*	- 0.0157*	0.0071*	- 0.00096*	0.02	0.74
Proteína	27.766*	0.0186*	- 0.0271*	- 0.0124*	0.00017*	0.035	0.74
Fibra	16.449*	0.0513*	- 0.074*	- 0.034*	- 0.00046*	0.097	0.74
Ceniza	-2.376*	- 0.1995*	0.29*	0.132*	- 0.0017*	0.378	0.74
Calcio	7.561*	0.270*	- 0.0393*	- 0.017*	0.00024*	0.051	0.74
Fósforo	1.005	0.0056*	- 0.0082*	- 0.0037*	0.0005*	0.01	0.74
R.M. Seca	309.69*		- 3.466*	- 4.022*	0.589*	22.45	0.78
R. proteína	81.743*		- 0.916*	- 1.053*	0.154*	5.84	0.78
R. fibra	39.276*		- 0.443*	- 0.488*	0.708*	2.63	0.79
R. ceniza	37.974*		- 0.409*	- 0.576*	0.087*	3.60	0.75
R. calcio	17.276*		- 0.195*	- 0.213*	0.0308*	1.13	0.79
R. fósforo	-2.044*		-	0.108	0.0509*	2.11	0.73

\*Coeficiente significativo ( $p < 0.05$ ) en los resultados de la regresión múltiple.

Cada una de las variables consideradas están de acuerdo al siguiente modelo de regresión múltiple: Variable considera = Intercepto + a (temperatura) + b (humedad relativa) + c (luz) + d (precipitaciones).

a, b, c y d = Coeficientes del modelo de regresión múltiple.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que la planta acuática *Lemna perpusilla* cultivada en estanques (enero-junio) con residuales porcinos, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, presenta bajo contenido de materia seca (6.87 a 8.87%) y fibra (11.67 a 12.89%), pero alto contenido de proteína (26.02 a 27.41%), lo cual también se presenta en el pasto *Brachiaria decumbens* en el que la concentración de proteína fue superior en el período de lluvia (Ramírez *et al.*, 2002).

El periodo de cultivo (época del año) afecta la cosecha total, composición química y rendimiento de la planta. Los factores climáticos que más influyeron sobre la cosecha total fueron las horas de luz y precipitación, mientras que el rendimiento en nutrientes fue afectado por la temperatura, humedad relativa, horas de luz y precipitación.

La mayor tasas de crecimiento de *L. perpusilla* fue en el mes de enero la época de estiaje donde duplico la biomasa en gm<sup>-2</sup>

en estanques abiertos en 6 a 6.5 días, lo cual está cercano a los 4 o 5 días reportados en laboratorio por Dirilgen (2011) para *L. minor*, y una tasa de biomasa máxima de 1,470 gm<sup>-2</sup>, obtenida en condiciones controladas para la misma especie por Frederic et al. (2006) con una densidad inicial de 750 gm<sup>-2</sup>, lo cual esta 411 gm<sup>-2</sup> por arriba de lo obtenido en el primer experimento con residuos porcinos y con una menor tasa de siembra inicial (200 gm<sup>-2</sup>). La concentración de fósforo total inicial en el agua fue de 2.1 mgL<sup>-1</sup> la cual se encontró dentro del intervalo para el crecimiento de la *Lemna* de acuerdo a los resultados de Song et al. (2009) quienes determinaron que el mejor crecimiento de *Lemna minor* fue a la concentración inicial de 0.5 a 5 mgL<sup>-1</sup>.

Los resultados obtenidos en este trabajo nos muestran que esta macrófita acuática flotante puede cultivarse en un pequeño espacio bajo los parámetros obtenidos en este estudio y puede suministrarse al cultivo de peces como alimento suplementario (Ponce-Palafox et al., 2004). Además, de acuerdo con la composición proximal que se determinó en este estudio la *Lemna* es factible de utilizarse como sustituto parcial de los concentrados proteicos

que forman parte de las raciones de los peces y otros animales de granja, sobre todo si se tiene en cuenta el alto costo de los alimentos comerciales. Actualmente se ha utilizado para sustituir el 50% de la proteína convencional de la dieta (harina de pescado y harina de soya) en la alimentación de peces, obteniéndose resultados adecuados con respecto a la supervivencia y talla al término del ciclo productivo (Ponce-Palafox et al., 2004). En relación con los costos de alimentación en sistemas intensivos de tilapia, estos se han reducido a la mitad en el África, cuando se combina la dieta de los peces con alimento balanceado y *Lemna gibba*. A pesar de que las malezas acuáticas pueden contribuir en buena parte de la dieta de peces herbívoros, en *O. hornorum*, *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *C. Carpio* y *C. c. rubrofuscus* solo se ha llegado a obtener resultados alentadores alrededor de un 20% de inclusión en la ración alimenticia en sistemas de producción comercial. Debido a esto se presentan alternativas de considerar en la medida de lo posible la inclusión de más de dos plantas acuáticas para compensar las deficiencias de algunos nutrimentos como los aminoácidos esenciales en donde una combinación apropiada, bien pudiera incrementar la calidad de la proteína.

## Literatura citada

- AOAC. Official Methods of Analysis 15<sup>th</sup>. Ed. Ass. Off. Anal. Chem. Washington D.C., USA. 1980.
- Arredondo-Figueroa JL, Ponce-Palafox, JT. Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones. Editores AGT S.A. México. D.F. 1998: 236.
- Dirilgen N. Mercury and lead: Assessing the toxic effects on growth and metal accumulation by *Lemna minor*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2011; 74: 48–54.
- Domínguez PL, Reyes JC, Lylían J. Digestibilidad ideal del nitrógeno en cerdos alimentados con macrófitas acuáticas flotantes. Resúmenes: XXX Seminario Científico Internacional. Colombia. 2001: 25.
- Domínguez QH. Utilización de la *Lemna perpusilla* en la alimentación de conejos en la etapa de crecimiento-ceba. (Tesis de Maestría). Cuba, Bayamo, Granma: UG, 2002.
- FAO. Recycling or organic wastes in agriculture. Report of the FAO study tour to the People's Republic of China. FAO. Soils Bulletin Roma 2001; 7.

- Frederic M, Samira L, Louiseb M, Abdelkrimc A. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication. *Water Research* 2006; 40: 2901–2910.
- Leng RA, Stambolie JH, Bell R. Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animal and fish. *Livestock for Rural Development* 1995; 7: 1-8.
- Leng RA, Stambolie JH, Bell R. Duckweeds a potential high protein feed resource for domestic animal fish. Armidales, University of New England, Center for Duck weed Research and development. 1994.
- Lumpkiny TA, Plucknett DC. *Azolla*, Botany, physiology and use green manure. *Economic Botany* 1982; 34: 11.
- Martínez V. Digestibilidad in vivo e in Vitro de la proteína en cerdos alimentados con harinas de macrófitas acuáticas flotantes. *Revista Computarizada de Producción Porcina* 2000; 3: 1-6.
- Mesa FA. Dinámica de funcionamiento y resultados de un sistema de producción de cerdos bajo enfoques de integración y sostenibilidad [en línea] 2000. [Consulta 2001-12-16] <http://www.Nemaster.delta.angio.lemn.htm>.
- Montgomery, D. C. 1997. Design and analysis of experiment. New York: Wiley.
- Pérez R. Alimentación de cerdos con recursos locales. Técnicas agropecuarias para el asentamiento ecológico del MINAZ 1997: 25-28.
- Pinto SL. Producción de las plantas acuáticas *Lemna minor* y *Azolla filiculoides* y su uso Conjuntamente con la harina de pescado en raciones para cerdos. (Tesis Licenciatura) Maracay Venezuela: UCV, 2000.
- Ponce-Palafox JT, González SR, Romero CO, Ocampo HD, Esparza LH; Fitz M. Estrategias para el aprovechamiento de las hidrófitas en el cultivo de peces [en línea]. Monográfico especial de Acuicultura. 2004. *Revista Electrónica de Veterinaria* [Consulta 2004-11-16]; 2(5) Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n020204.html>.
- Preston TR, Leng RA. Diagnóstico general y tendencias en relación con la ganadería y el medio ambiente. *Revista ACPA* 2003; 2: 34–39.
- Ramírez JL, Leonard I, Kijora C, López B. 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* 2002; 20: 1-4.
- Ruiz L. Evaluación de algunos indicadores de salud de cerdos en ceba alimentados con Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) fresco o ensilado. (Tesis de Maestría). Cuba, Bayamo, Granma: UG, 1998.
- Shi SX. The purifyn efficiency and mechanism of aquatic plants in ponds. *Water Science and Technology* 2000; 24: 63-76.
- Song G, Meng W, Wang Q, Hou W. The suitable phosphorus concentration level for restoration by duckweed. *International Journal of Environment and Pollution* 2009; 38: 127-139.