

MACROFITAS ACUÁTICAS FLOTANTES EN SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Julio Ly

Instituto de Investigaciones Porcinas. PO Box 1, Punta Brava. La Habana 19200, Cuba
E-mail: julioly@utafoundation.org

INTRODUCCIÓN

Aunque se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de residuales, algas u otras sumergidas entre otras, con vistas a explorar su posible valor nutritivo, las así denominadas macrofitas acuáticas flotantes, la lenteja de agua o lemna (*Lemna* spp), azolla (*Azolla* spp) y la espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*) son las tres que con más intensidad se han estado evaluando en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural, que suele ser en muchos casos, arrozales, como ocurre en todo el Sudeste Asiático. Particularmente en estas tres macrofitas no se han encontrado factores antinutricionales que pudieran limitar su uso en alimentación animal, lo que las hace muy atractivas en este sentido.

Estos tipos de planta no son desconocidos en otras latitudes tampoco (ver Boyd 1973, Dinges 1983, Lincoln *et al.* 1986, Wolverton 1987 entre otros). Sin embargo, es posible que la concepción que originalmente se pudiera tener de ellas, como simples malezas acuáticas (Holm *et al.* 1969) esté en proceso de cambio. A continuación, este texto se concentrará en el examen del uso de las lemnáceas, la azolla y la espinaca acuática como una parte relacionada con la producción animal integrada a cultivos y entre sí.

LEMNA (LEMNA SPP)

Las lemnas o lentejas de agua son pequeñas macrofitas flotantes que prosperan en aguas estancadas o de corriente lenta. Su crecimiento es muy rápido, y constituyen en

su habitat natural, un alimento apreciado por peces, aves palmípedas, roedores acuáticos (Boyd 1968, Tan 1970, Chang *et al.* 1977, Culley y Epps 1973, Rusoff *et al.* 1977, 1979) y hasta por comunidades humanas del Lejano Oriente (Krachang y McGarry 1971, Hillman y Culley 1978). En este sentido, la menor de todas las lemnáceas, que es del tamaño de la cabeza de un alfiler, la *Wolffia* arrhiza, ha sido utilizada como vegetal muy nutritivo por los birmanos, laosianos y tailandeses del norte durante muchas generaciones (Krachang y McGarry 1971).

Las lemnáceas constituyen una familia de plantas vasculares, que flotan libremente sobre la superficie del agua, y que tienen una distribución mundial. Hay cuatro géneros: *Spirodela*, *Lemna*, *Wolffia* y *Wolffiella*, y cerca de 40 especies (Hillman 1961). Estas macrofitas tienen una morfología relativamente simple, puesto que no tienen tallos ni hojas verdaderas; comúnmente consisten en una o pocas frondas de forma ovalada que raramente exceden los 5 mm de longitud. Cada fronda puede tener o no algunas raíces, y las plantas florecen muy raramente.

Estas lemnas se reproducen por la vía vegetativa muy fácilmente. Las plantas forman grandes masas o colonias que se distribuyen como una sábana o lámina sobre la superficie del agua (Hillman 1961). Las lemnáceas pueden duplicar su biomasa en cosa de dos o tres días, bajo condiciones ambientales propicias, y es así que se ha demostrado que pueden obtenerse rendimientos de 10 a 13 t MS/ha cada año en sistemas de pequeñas lagunas, mientras que en tanques al exterior los rendimientos se acercan a las 20 t MS/ha anuales (Said *et al.* 1979).

Las lemnáceas se han utilizado en algunas oportunidades para aprovecharlas como plantas depuradoras de residuales (Dingess 1983, Zirschky y Reed 1988) y particularmente, han sido incluídas en circuitos complejos de depuración de excretas porcinas (Corradi et al. 1983, Salomoni *et al.* 1991), mientras que en otras ocasiones, la atención de los investigadores se ha movido preferencialmente hacia su uso en nutrición animal (Rusoff et al. 1980, Bui Huy 2000).

AZOLLA (AZOLLA SPP)

El género *Azolla* corresponde a diminutos helechos acuáticos, que flotan libremente en la superficie del agua, y que se halla diseminado por todas las regiones tropicales, como la *Azolla pinnata*, y subtropicales, como la *Azolla filiculoides* y la *Azolla mexicana* (Espinosa *et al.* 1979). La azolla es una planta que consiste en un corto tallo ramificado que posee raíces que cuelgan hacia abajo en el agua. Cada hoja es bilobulada, el lóbulo superior contiene clorofila verde mientras que el lóbulo inferior es incoloro. Bajo ciertas condiciones, también existe un pigmento de antocianina, que le confiere al helecho un color entre rojizo y carmelita. La coloración mencionada está asociada con la sobrefertilización del reservorio acuático, mucha contaminación o también un exceso de luz solar. La azolla prefiere más un lugar sombreado que estar a plena luz solar.

Este helecho tiene la habilidad de fijar N atmosférico gracias a su asociación en simbiosis con una cianobacteria que lo fija, la *Anabaena azollae* (Peters *et al.* 1982, Calvert *et al.* 1985). La *Anabaena azollae*, que vive en las cavidades de las frondas del helecho, es capaz de usar su propia energía fotosintética para fijar el N atmosférico y producir amonio, lo que es aprovechado por la azolla para cubrir sus propios requerimientos de N. Aún así, algunos factores ambientales tales como las condiciones del suelo y del agua, así como las técnicas de cultivo, influyen de una forma importante en el contenido de nutrientes de la azolla (Naegel 1998).

La relación simbiótica entre el helecho y la cianobacteria permite a la azolla ser relativamente independiente de utilizar N de su entorno, y ha atraído el interés de muchos científicos. Este hecho hace que la azolla tienda a contener niveles relativamente altos de N y ser una fuente proteica atrayente para la alimentación animal, no solamente del ganado y en la avicultura (Buckinham *et al.* 1978), sino en acuicultura, para alimentar peces en forma fresca (Pantastico *et al.* 1986, Chen y Huang 1987, El Sayed 1992), o seca (Almazan *et al.* 1986, Santiago *et al.* 1988, Siomi y Kitoh 1994, Joseph *et al.* 1994). De hecho, existe más información sobre el uso de azolla en alimentación de peces que de otras especies animales (Naegel 1998), aunque también se han hecho evaluaciones de sistemas integrados de producción de cerdos, patos, peces y azolla (Gavina 1987).

Mucho del trabajo investigativo hecho con la azolla se ha llevado a cabo en relación con el cultivo del arroz, debido a que se suele usarla como abono verde, y su potencial como alimento animal está realmente poco investigado (Alcántara y Querubín 1982, 1985). Sin embargo es en Filipinas donde se ha estudiado con más detenimiento su posible uso en alimentación de animales monogástricos, mientras que en algunos países del Nuevo Mundo, como México, Cuba y Colombia, se ha explorado su posible utilización en la alimentación porcina.

ESPINACA ACUÁTICA (IPOMOEA AQUÁTICA)

Desde tiempos inmemoriales, en el Sudeste Asiático se usa la espinaca acuática tanto en alimentación humana como en la de animales monogástricos, y muy en especial el cerdo. La espinaca acuática es una planta tropical perenne, de la familia de las convolvuláceas, que crece lo mismo flotando en el agua, que en lugares bajos y pantanosos. Es común ver crecer esta planta en su estado salvaje en cualquier reservorio de agua o en sus bordes, en muchos países del sur y el oriente asiáticos.

La espinaca acuática, considerada maleza indeseable y peligrosa en algunos

lugares de la América del Norte, se usa como vegetal comestible altamente apreciado por el hombre, y es muy popular en la comida de todos los días en la cocina del Lejano Oriente (ver por ejemplo, Edie y Ho 1979, Jain *et al.* 1987). Por eso, tampoco es sorpresa saber que se ha desarrollado la agronomía de la espinaca acuática, particularmente dedicada al consumo humano, en cuyo caso se prefieren las puntas y los brotes tiernos de la planta.

La espinaca acuática puede crecer flotando sobre la superficie del agua, emitiendo brotes que se propagan en todas direcciones horizontalmente a partir de las partes axilares o nódulos, donde emite raíces adventicias que generalmente buscan introducirse en el lecho acuático, o simplemente se hunden en el suelo arenoso o pantanoso, pero siempre húmedo. De esta forma, suele cubrir totalmente la superficie acuática. Las hojas verde brillante son opuestas, triangulares o en forma de puntas de flecha en el extremo de largos pecíolos. Los tallos son lisos, cilíndricos, suculentos y huecos, llenos de agua, y pueden tener una longitud de hasta 20 a 25 m.

La planta se reproduce sexualmente produciendo de una a cuatro semillas encapsuladas, a partir de flores de 2 a 5 cm de longitud, en forma de embudos de color rosado a blanco. También se puede reproducir vegetativamente por fragmentación de los tallos, lo que ocurre en condiciones de inundación o en el momento de la recolección de las plantas.

Se han desarrollado varios tipos cultivados de espinaca acuática, comúnmente denominados Light Green, Red Green y Red Stem, de las cuales la más común es la tercera (Tiwari y Chandra 1985). Las variedades cultivadas parecen responder a la llamada reptans, que tiene hábitos de crecimiento más bien eréctiles, y que se suele cultivar en tierra más bien que en agua (Palada y Crossman 1999), y que por otra parte, se destina preferentemente al consumo del hombre.

CONDICIONES DE CULTIVO

Las macrofitas acuáticas flotantes tienen la capacidad de doblar su biomasa en muy

escasos días, y cuando se proporciona una fertilización adecuada, sus rendimientos son considerables. Existen distintos estimados de rendimiento de estas plantas, cuando se cultivan experimentalmente. Sin embargo, en condiciones de vida cotidiana, en el Lejano Oriente, es común el cultivo de estas plantas.

Como ilustración, Little y Muir (1987) han comentado que la lemna suele cultivarse en sitios elegidos dentro de los arrozales de Taiwán en muchas comunidades urbanas, y las aguas residuales, tanto de desechos humanos como de animales, suelen usarse como fertilizantes de estos sitios de cultivo. Otra de estas plantas, la espinaca acuática, es producida en grandes cantidades en toda Asia Oriental. En el caso de Tailandia, alrededor de Bangkok es usual su cultivo como planta de cubierta en los sitios de cría de peces.

En Camboya, el uso de la espinaca acuática es una práctica agrícola generalizada en todos los espejos de agua, muy especialmente alrededor de Phnom Penh y otras áreas urbanas, donde se cultiva para el consumo humano y de cerdos. A continuación, en el Cuadro 1 se muestra el resumen hecho por Little y Muir (1987), sobre estimados de rendimientos de algunas macrofitas acuáticas flotantes. Como puede colegirse fácilmente, existe una gran disparidad en los datos recopilados por estos autores.

Existen varios informes dedicados a estudios de rendimiento de lemna (Nugyen Duc *et al.* 1997, Le ha 1998, L. Kaensombarth 2003, comunicación personal), así como de sus hábitos de crecimiento y composición (Myers 1977) o distintos tipos de macrofita a cultivar (Porath *et al.* 1979). En este texto se comentarán preferentemente los datos vietnamitas de Nguyen Duc *et al.* (1997).

En el trabajo de Nguyen Duc *et al.* (1997), se hicieron varias aproximaciones al cultivo de lemna fertilizada con efluentes de digestores plásticos cargados con excretas vacunas, que se hizo en bidones plásticos de 100 L de capacidad y un diámetro interno de 0.5 m. Por ejemplo, como resultado de estas evaluaciones, se informó que la lemna respondía francamente en su contenido de

Cuadro 1. Rendimiento anual de algunas macrofitas acuáticas flotantes

Especie	Condiciones	Rendimiento, t/ha	Fuente de los datos
Jacinto de agua	Estanques fertilizados artificialmente	75,6 – 191,1	Yount y Crossman (1979)
	Estanques fertilizados	70,8	Boyd (1976)
	Fertilización con efluente de residuales	219 -657	Wolverton y McDonald (1979)
Lemnaceas	Crecimiento en canales de irrigación en China	400 - 750	Coche (1980)
	Condiciones tropicales	22,1	Edwards (1980)
Lemna, Wolfia, Azolla	Crecimiento en canales de irrigación en China	150 - 187	Coche (1980)

proteína, a la fertilización con efluente cuando éste contenía más de 5 mg N/L (Cuadro 2), sin cambios en el contenido de otros nutrientes. Por cierto, la respuesta fue positiva y lineal a partir de un contenido de 10 mg N/L en el agua. Como generalización, Nguyen Duc *et al.* (1997) aseguraron que el rendimiento anual de proteína de la lemna podía estar en el rango de 6-10 t/ha si el contenido de N en el agua se mantenía entre 10 y 30 mg/L.

Cuadro 2. Composición de lemna fertilizada con niveles variables de efluente de biodigestores (base seca)¹

Concepto	N en agua, mg/L	
	0-5	10-40
Materia seca, %	5,4	5,6
Fibra cruda	12,7	10,0
Extracto etéreo	8,5	9,5
Nx6.25	29,9	39,3
Fósforo	1,3	1,3

¹ Inóculo inicial, 100 g de biomasa/m² y cosecha cada dos días, con retorno de 200 g de biomasa/m²
Fuente de los datos: Nguyen Duc *et al.* (1997)

En una segunda aproximación al cultivo de lemna, se demostró que cuando la fertilización estaba por encima de 10 mg N/L, y se cosechaba cada dos días, el máximo rendimiento se obtuvo con una inoculación inicial de lemna en el medio, ascendente a 100 o 200 g de biomasa fresca/m² (Cuadro 3). Al parecer en ese rango se puede obtener el rendimiento óptimo. En realidad, en este trabajo se observó que hubo poco efecto del ritmo de inoculación en el contenido de proteína de la macrofita. Los rendimientos de MS y proteína parecieron mostrar una respuesta cuadrática, con los valores más

bajos en estos índices cuando la inoculación fue a razón de 500 g biomasa/m².

Cuadro 3. Influencia del nivel de inóculo de lemna en el rendimiento de biomasa¹

	Inóculo, g frescos/m ²				
	100	200	300	400	500
Rendimiento anual, t/ha					
Materia seca	14,0	15,9	15,3	12,8	10,9
Proteína (Nx6.25)	5,4	6,2	5,9	4,9	4,1

¹ Cosecha cada dos días
Fuente de los datos: Nguyen Duc *et al.* (1997)

Otro aspecto de interés que tocó el grupo de Nguyen Duc fue el concerniente al intervalo de cosecha. En este sentido, se informó que otro ensayo que se hizo para dar respuesta a esta interrogante, se halló que el contenido proteico de la lemna estuvo entre los valores de 38 y 41% para cualquiera de los tratamientos probados. Por otra parte, se encontró una respuesta más bien curvilínea al intervalo de cosecha, con un máximo alrededor de una frecuencia de cosecha igual a dos días (Cuadro 4).

Cuadro 4. Influencia del intervalo de cosecha de lemna en el rendimiento de biomasa¹

	Intervalo de cosecha, días				
	1	2	3	4	5
Rendimiento anual, t/ha					
Materia seca	18,9	25,4	19,9	16,3	16,3
Proteína (Nx6.25)	7,5	9,7	7,8	6,4	6,7

¹ Inóculo inicial, 100 g de biomasa/m²
Fuente de los datos: Nguyen Duc *et al.* (1997)

Con respecto a la azolla, este helecho se multiplica generalmente de forma vegetativa, y puede duplicar su biomasa en cuatro días (NAAP 1985). Sin embargo, existe conocimiento sobre el proceso de esporulación de la azolla (NAAP 1987). Es muy común encontrar estos helechos flotantes en los arrozales (Lumpkin y Plucknett, 1980, 1982). De hecho la azolla constituye un subsistema dentro del sistema integrado de cultivo de arroz y peces en lugares como el sur de China, Vietnam y Filipinas (Lales *et al.* 1989, Cagauan y Pullin 1994). El factor limitante que más importa para la multiplicación de la azolla lo es el tenor de fósforo en el medio acuático (Subuhi y Watanabe 1981, Watanabe *et al.* 1981, Watanabe y Ramírez 1984, Rakotonaivo y Schramm 1989), que se hace más serio precisamente en los arrozales, donde el pH relativamente bajo del agua hace menos disponible el fósforo existente (Diamond 1985).

Merece la pena comentar aquí los datos informados por Becerra *et al.* (1990) relativos al rendimiento hallado para *Azolla filiculoides* cultivada específicamente para un experimento de alimentación porcina hecho en Cali. En estos datos colombianos, se usó *Azolla filiculoides* de origen brasileño, que se sembró en estanques con 40 cm de profundidad, fertilizados con pollinaza a razón de 10 g/m² por día. Diariamente se reponía con agua fresca el 5% del volumen del estanque para compensar la evaporación en el lugar. Becerra *et al.* (1990) cosecharon azolla con un contenido de proteína de 23% en base seca y un rendimiento estimado de 39 t MS/ha por año, lo que equivaldría a la producción de 9 t de proteína/ha. Este valor es más bien alto.

En lo referente a la espinaca acuática, en Camboya se han ejecutado varios experimentos destinados a evaluar diferentes factores que pudieran influir en los rendimientos y composición de esta macrofita. Por ejemplo Kean (2002) comparó rendimientos de espinaca acuática sembrada en tierra, sin fertilizar, o fertilizada bien con efluentes de un biodigestor cargado con excretas porcinas, bien con urea, de la forma tradicional. Evidentemente, el rendimiento de

la espinaca acuática aumentó como respuesta a la fertilización (Cuadro 5), y por otra parte, la fertilización con efluentes pareció ser más beneficiosa que con urea, lo que se interpretó como una respuesta a otros compuestos presentes en el efluente, útiles para la nutrición vegetal.

Cuadro 5. Influencia del tipo de fertilización nitrogenada en el rendimiento de espinaca acuática

Concepto	Fertilización, 75 kg N/ha		
	Ninguna	Efluente ¹	Urea
Rendimiento, t/ha			
Biomasa fresca	82,3	220,0	193,8
Material seco ²	6,58	17,6	15,5

¹ El efluente tenía como promedio 303 mg N/L del cual el 76% estaba en forma de amonio. El suelo era arenoso (pH 5,45, N, 0,3%)

² Se asume una concentración de MS igual a 8%

Fuente de los datos: Kean (2002)

En un segundo experimento, Kean (2002) examinó qué influencia podía tener el nivel de fertilización nitrogenada en el rendimiento de la espinaca acuática cultivada. La fertilización consistió en el uso de efluentes de biodigestores plásticos cargados con excreta porcina. La respuesta fue linealmente muy positiva en el rango de 0 a 140 kg N/ha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Influencia del nivel de fertilización nitrogenada en el rendimiento de espinaca acuática

Concepto	Rendimiento, t/ha ¹	
	4 semanas ²	Anual ³
Fertilización, kg N/ha		
0	6,66	86,8
20	10,5	136,9
40	10,6	138,2
60	14,1	183,8
80	17,4	226,9
100	20,7	269,9
120	20,0	260,6
140 ⁴	23,6	307,7

¹ En base fresca

² Respuesta lineal ($y = 7,12 + 0,118x$, $R^2 = 0,96$)

³ Estimado a partir de los datos de la cosecha de 4 semanas

⁴ Recuperación de N del fertilizante en la planta, 54%

Fuente de los datos: Kean (2002)

En otro trabajo camboyano, San (2003) encontró una respuesta más bien curvilínea en el rendimiento de la espinaca acuática

cuando el efluente provino de biodigestores con distintos tiempos de retención hidráulica, y la fertilización de la espinaca acuática se hizo en un cultivo hecho en tierra, y fue equivalente a 125 kg N/ha. Los valores máximos hallados por San (2003) fueron para un tiempo de retención hidráulica igual a 10 días.

Por otra parte, los cálculos hechos para el rendimiento de biomasa en base seca a partir de la información suministrada por San (2003), fueron netamente superiores a los encontrados por Kean (2002). Los resultados del experimento de San se muestran a continuación en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Rendimiento de espinaca acuática fertilizada con efluente de biodigestores. Efecto del tiempo de retención

	Retención hidráulica, días		
	0	10	20
Ingreso en el efluente			
N en efluente, g/L ¹	1,00	1,18	1,07
NH ₃ -N, por ciento del total	0,50	0,53	0,60
Egreso en espinaca acuática			
Composición			
Materia seca, %	7,26	7,59	7,80
Nx6,25, % en base seca	22,84	20,23	22,10
Rendimiento anual, t/ha ²			
Biomasa fresca	285,5	344,8	268,1
Materia seca	20,73	26,17	20,91
Protelna cruda	4,30	5,29	4,62

¹ Fertilización, 125 kg N/ha

² Estimados a partir de la cosecha de 4 semanas

Fuente de los datos: San (2003)

Datos vietnamitas relacionados con el cultivo de espinaca acuática se presentan en el Cuadro 8. En el experimento hecho en

Long Xuyen (Ly Thi 2003, comunicación personal) se evaluaron rendimientos de espinaca acuática cultivada en suelo o bajo agua, con niveles de fertilización nitrogenada en forma de urea, entre 0 y 84 kg N/ha. En esta evaluación, se halló que la espinaca respondió mejor cuando se cultivó sobre suelo que bajo agua, mientras que los rendimientos de biomasa parecieron mostrar una respuesta curvilínea al nivel de fertilización, con rendimientos máximos para el tratamiento de 30 kg N/ha.

CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

Como un hecho que es común a todas las macrofitas acuáticas flotantes, con potencial para ser utilizadas en alimentación animal, puede mencionarse su bajo contenido de MS, lo cual se halla siempre que se hace un tipo de evaluación de estas plantas (Little y Henson 1967, Culley y Epps 1973, Joyce 1990, Nguyen Nhut 2001), así como su alto contenido en materia mineral (ver por ejemplo, Ravindran y Blair 1992). Debe decirse también que la alta proporción en pared celular es otro aspecto importante a tener en cuenta en cuanto a la composición química de las macrofitas en discusión.

La composición química de las lemnáceas varía considerablemente de acuerdo con la edad de la planta, la temperatura ambiental. En este sentido, Rusoff et al. (1980) han resumido este asunto indicando que en las muestras de lemnas obtenidas de distintos reservorios naturales de agua, tales como lagos, campos de arroz, lagunas y corrientes de agua, el contenido de proteína puede variar entre 7 y 20% en base seca (Tan 1970, Krachang y

Cuadro 8. Respuesta de espinaca acuática a la fertilización con urea

	Fertilización, kg N/ha					Media
	-	14	28	56	84	
Rendimiento, t/ha anual ¹						
Biomasa fresca						
Sobre suelo	135,6	119,9	212,1	210,3	215,5	179,0
Bajo agua	111,2	137,3	147,7	152,1	173,8	144,3
Materia seca						
Sobre suelo	9,2	8,9	15,1	15,0	15,0	12,9
Bajo agua	8,0	10,8	8,7	11,0	12,9	10,4

¹ Estimado a partir de la cosecha de 3 semanas

Fuente de los datos: Ly Thi (2003, comunicación personal)

Cuadro 9. Características de la composición química de distintas lemnáceas

Especie	Sitio	Status	Composición, % MS				Fuente de los datos
			Cenizas	FC	FDN	N	
Sin cultivar							
L. minor	Guelph	-	18,4	16,6	-	2,49	Muztar <i>et al.</i> (1976)
L. gibba	Xochimilco	-	17,3	-	-	4,84	Escamilla (1998)
L. gibba	Xochimilco	-	24,1	11,0	17,8	4,45	Gutiérrez (2000)
L. minor	Cantho	-	18,6	-	33,5	3,84	Nguyen Nhut (2001)
L. minor	Cantho	-	14,8	-	33,9	5,15	
Cultivada							
W. arrhiza	Chieng Mai	Sin fertilizar	18,3	13,3	-	3,16	Krachang y McGarry (1971)
L. gibba	Baton Rouge	Laguna anaerobia	14,1	9,4	-	4,03	Rusoff <i>et al.</i> (1980)
S. punctata			13,7	9,2	-	4,59	
S. polyrhiza			15,2	8,8	-	4,66	
W. columbiana			17,1	11,0	-	5,84	
L. minor	La Habana	Laguna aerobia	35,6	20,0	38,2	7,29	Domínguez <i>et al.</i> (1996)

McGarry 1971). Sin embargo, cuando la lámina de agua se enriquece con minerales o efluentes de residuales municipales o animales, el contenido proteico puede elevarse al rango de 30 a 40% (Culley y Epps 1973, Chang *et al.* 1977, Rusoff *et al.* 1977, 1979; Hillman y Culley 1978).

Debe asumirse que es el medio líquido donde viven, uno de los factores que mayormente puede influir en el rendimiento y en la composición de las plantas acuáticas. Aparentemente, las lemnáceas responden muy bien a la fertilización, como puede observarse en algunos datos que se presentan en el Cuadro 9.

La azolla se caracteriza por su riqueza en proteína cruda y cenizas (Cuadro 10). Debe esperarse que sea rica en fracciones de fibra, aunque no se considera que la pared celular esté lignificada de la misma manera que en las plantas terrestres, donde es necesario poseer estructuras rígidas de sostén.

Debido a su simbiosis con la Anabaena azollae, debe esperarse que el contenido de N en el medio acuático tenga poco efecto en el contenido proteico de la azolla, que más bien es sensible al nivel de fósforo en el agua (Watanabe *et al.* 1981; Rakotonaivo y Schramm 1989). Debido a eso, en condiciones donde el medio no sea pobre en fosfatos, la azolla suele contener más N que la lemna en condiciones de un habita natural que no esté enriquecido con N. Esto es lo

que debe reflejar el informe de Castillo (1983), que aparece a continuación en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Composición química de azolla y lemna. Datos filipinos

Por ciento en base seca	Azolla	Lemna sp
Cenizas	21,12	32,98
Fibra cruda	12,38	11,36
Extracto etéreo	0,78	0,36
Proteína cruda	30,03	25,53
Energía bruta, kJ/g MS	17,77	13,35
Caroteno, mg/kg	421	524
Xantofilas, mg/kg	2808	3237

Fuente de los datos: Castillo *et al.* (1983)

Querubin *et al.* (1986) hicieron un estudio detallado de la composición química de tres especies de Azolla que se estaban estudiando en Los Baños, dentro del programa filipino dedicado exclusivamente a evaluar el potencial de esta macrofita. En el Cuadro 11 se muestra el resultado del estudio de las características de muestras representativas de Azolla caroliniana, Azolla microphylla y Azolla pinnata. Ellos encontraron, como era de esperar, un alto contenido de minerales en las tres especies, pero sobre todo un distinto tenor de N, y por ende, de proteína cruda, a favor de la Azolla microphylla, mientras que la Azolla pinnata fue la que mostró valores inferiores de proteína.

Un aspecto sorprendente en este trabajo de Querubin *et al.* (1986) fue la

Cuadro 11. Composición química de tres especies cultivadas de azolla. Datos filipinos (por ciento en base seca)

	Azolla		
	caroliniana	mycrophylla	pinnata
Esquema analítico de Weende			
Cenizas	29,1	28,7	25,3
Fibra cruda	13,1	15,0	16,5
Extracto etéreo	1,9	2,9	2,6
N	3,69	3,79	2,75
Esquema analítico de Van Soest			
FDN	57,0	57,8	64,9
FDA	44,6	44,5	54,8
Lignina	30,8	27,3	35,7
Sílice	6,2	7,6	6,9
Minerales			
Calcio	2,07	2,07	1,67
Fósforo	0,59	0,77	0,46
Sodio	1,24	0,48	0,77
Potasio	2,44	4,93	2,19
Magnesio	0,15	0,17	0,15
Hierro	0,26	0,24	0,23
Manganeso	0,23	0,27	0,20
Cobre, ppm	16,37	17,55	15,90
Cinc, ppm	64,51	71,75	46,77
Provitaminas			
Caroteno, mg/kg	133	152	77
Xantofilas, mg/kg	380	304	254
Energía bruta, kJ/g MS	16,86	16,95	16,32

Fuente de los datos: Querubin *et al.* (1986)

extraordinaria diferencia entre el contenido de fibra cruda, determinada dentro del esquema tradicional de Weende, y el de FDA, según el esquema analítico de Van Soest. Por otra parte, Querubín *et al.* (1986) informaron sobre el contenido de caroteno y xantofilas de estos tipos de helecho, así como el de algunos elementos traza, que mostraron estar presentes en proporciones de importancia.

En lo referente a la lemna y la espinaca acuática, así como a otras macrofitas acuáticas flotantes, datos vietnamitas de su composición química se muestran en el Cuadro 12. Existe una coincidencia en cuanto al bajo tenor de MS y al alto contenido de cenizas, con respecto a la información de las Filipinas. Nuevamente, la lemna mostró en este análisis un alto contenido proteico, aunque variable. Por otra parte, vale la pena resaltar el por ciento considerablemente alto de fracciones fibrosas en las muestras vietnamitas,

posiblemente superiores a las de los resultados filipinos.

Un aspecto a resaltar, que ha sido objeto de interés, lo ha constituido la composición en nutrientes de tallos y hojas, en este caso, de la espinaca acuática. A este respecto, en el Cuadro 13 se muestra el resultado de un trabajo encaminado en esa dirección que se hizo en el delta del Mekong. Vale la pena mencionar que los tallos se caracterizan por un mayor contenido de ceniza y fibra, mientras que las hojas poseen un mayor nivel de proteína cruda, de acuerdo con Le Thi (1999). Por otra parte, las hojas contienen más material seco que los tallos.

Los datos filipinos con respecto a la composición en aminoácidos de muestras de azolla y lemna aparecen en el Cuadro 14. Tal vez uno de los aspectos que deben llamar más la atención, es que estas macrofitas parecen contener un nivel relativamente bajo de metionina, lo que debe tenerse en cuenta si la proteína de estas plantas contribuye con una alta proporción al alimento de los

Cuadro 12. Composición química de plantas acuáticas no cultivadas del sur de Vietnam (por ciento en base seca)

	MS	Cenizas	FDA	FDN	Lignina	EE	N
Espinaca acuática ¹	11,1	12,2	27,4	35,3	11,2	9,1	3,65
Espinaca acuática ²	9,0	13,5	29,6	37,2	12,3	8,5	4,58
Lemna minor	4,3	18,6	19,2	32,5	3,9	6,5	3,84
Lemna minor	4,9	14,8	17,8	33,9	3,2	12,4	5,15
Pistia stratiotes	6,2	18,7	28,7	40,0	4,0	23,5	2,59
Eichhornia crassipes ³	8,7	13,1	22,7	63,5	7,6	3,8	2,05
Eichhornia crassipes ⁴	7,9	14,2	35,0	60,6	7,5	9,3	2,90
Eichhornia crassipes ⁵	5,8	13,4	41,0	69,2	9,4	2,4	1,22

^{1,2} Variedad roja y verde respectivamente

^{3,4,5} Planta entera, hojas y pecíolos respectivamente

FDA, FDN y EE expresan fibra detergente ácido, fibra detergente neutro y extracto etéreo

Fuente de los datos: Nguyen Nhut (2001)

Cuadro 13. Composición química de hojas y tallos de espinaca acuática del sur de Vietnam (por ciento en base seca)

Concepto	Hojas	Tallos	Hojas y tallos
Materia seca	12,0	6,6	8,3
Cenizas	9,2	16,8	14,1
Materia orgánica	90,8	83,2	85,9
Fibra cruda	11,4	20,1	15,5
Extracto etéreo	8,0	5,8	6,7
ELN	36,7	39,4	37,0
Nx6.25	34,7	17,9	26,7

Fuente de los datos: Le Thi (1999)

animales. Desgraciadamente, en el informe de Castillo et al. (1983) no aparecía el nivel de cistina, el otro aminoácido azufrado, cuya determinación requiere un tratamiento adecuado de la muestra en cuestión. Otro aspecto que llama la atención es el contenido relativamente alto de triptófano en la azolla (0,44%) y bajo en la lemna (0,13%). Como es sabido, este es otro aspecto importante a tener en cuenta, sobre todo cuando se manipulan alimentos no convencionales, cuya composición química no es muy conocida. Debido a que la determinación de triptófano debe hacerse mediante una hidrólisis de naturaleza alcalina, en paralelo con la otra, en medio ácido, muchas veces no suele determinarse el contenido de triptófano, y por lo tanto no se informa. En este sentido, llamar la atención sobre la necesidad de conocer el contenido de ciertos aminoácidos, como todos los azufrados, y el triptófano, no es ocioso.

Otros datos de distintas especies de lemnáceas se muestran en el Cuadro 15.

Los datos del Cuadro 15 corresponden a cuatro tipos de lemnas cultivadas en Baton Rouge en lagunas donde se trataban

excretas vacunas en condiciones de anaerobiosis. Siempre aparece constante en estos datos, la relativa pobreza en metionina, y la ausencia de información acerca del contenido de triptófano.

Tal vez uno de los méritos relevantes del informe de Rusoff *et al.* (1980) sea el haber indicado el nivel de ácidos nucleicos presentes en estas macrofitas. En cuanto a datos vietnamitas relativos a la composición en aminoácidos de lemna y espinaca acuática, comparados con la de la alfalfa y la harina de soya, éstos se listan en el Cuadro 16.

VALOR NUTRITIVO

En la última década del siglo 20, y en la primera del 21, se han intensificado los estudios sobre el valor nutritivo de diferentes macrofitas acuáticas, fundamentalmente destinadas a la alimentación porcina.

En un estudio de digestibilidad boca-recto, hecho en Xochimilco, Gutiérrez (2000) encontró que la inclusión de un 10% de harina de lemna en la comida determinó una disminución en la digestibilidad de la MS y el N, pero no en la de la energía. Los datos de

Cuadro 14. Composición en aminoácidos de azolla y lemna. Datos filipinos

Por ciento en base seca	Azolla	Lemna sp
Aminoácidos esenciales		
Arginina	1,24	0,95
Histidina	0,45	0,33
Isoleucina	1,29	0,80
Fenilalanina	1,46	0,93
Leucina	2,43	1,35
Lisina	1,27	0,96
Metionina	0,54	0,33
Treonina	1,20	1,18
Triptófano	0,44	0,13
Valina	1,57	1,06
Aminoácidos no esenciales		
Alanina	1,82	1,04
Acido aspártico	2,31	1,71
Acido glutámico	4,88	1,71
Glicina	1,64	1,00
Prolina	1,04	0,65
Serina	1,19	0,64
Tirosina	1,06	0,50

Fuente de los datos: Castillo *et al.* (1983)

Gutiérrez se muestran en el Cuadro 17. El descenso en la digestibilidad de MS pudiera explicarse por el conocido alto tenor en cenizas de la lemna. En cuanto a la digestibilidad del N, ambos tratamientos mostraron una digestibilidad más bien baja, difícil de interpretar.

En el Cuadro 18 se presenta el resultado de un estudio hecho en Canthó, donde se determinaron índices de digestibilidad boca-recto así como el tiempo de retención de digesta en el tracto gastrointestinal de cerdos que consumieron dietas con un 30% de las macrofitas, en forma fresca.

Desde el punto de vista del tiempo medio de retención de digesta, este fue de 32,9 y 38,9 horas para la fase sólida de la lemna y la espinaca acuática, y de 29,5 y 36,9 horas para la fase líquida, respectivamente. En líneas generales, la digestibilidad de la materia orgánica fue relativamente baja para ambas macrofitas evaluadas, probablemente debido al alto contenido de ceniza de las dietas. Vale la pena mencionar también que la digestibilidad del N fue francamente baja, y en contraste, la digestibilidad de la FDA y la FDN fue relativamente alta. En este estudio de Nguyen Nhut (2001) no se utilizó ninguna dieta que pudiera utilizarse como patrón

contra el cual comparar los resultados que se obtuvieron con las plantas acuáticas.

Los investigadores de Canthó han estudiado concienzudamente el valor nutritivo de la espinaca acuática. Por ejemplo, Le Thi (1999) publicó datos relativos al efecto de dar la espinaca acuática in natura, sin trocear o troceada, a cerdas gestantes. El efecto beneficioso de trocear este vegetal, desde el punto de vista de su digestibilidad, aparece reflejado en el Cuadro 19. No obstante, este beneficio no fue extensivo al aprovechamiento digestivo del N. Por otra parte, los índices digestivos en este experimento fueron más bien bajos, tal vez, por el alto nivel de afrecho de arroz que contenían las raciones suministradas a las cerdas gestantes.

Le Thi (1999) estudió cómo se modificaban los índices de la digestibilidad boca-recto, cuando a los cerdos, ya fuera en crecimiento, o en acabado, se les suministraban niveles variables de espinaca acuática troceada, in natura, incorporada a dietas constituidas básicamente por arroz partido y afrecho de arroz, y en el que las fuentes proteicas eran harina de soya y harina de pescado. En los resultados de este trabajo, no fue muy marcada la respuesta clásica de un aumento de la digestibilidad con la edad o peso de los cerdos (Cuadro

Cuadro 15. Contenido de aminoácidos, proteína y ácidos nucleicos en cuatro lemnáceas. Datos de Lousiana

	L. gibba	S. polyrhiza	S. punctata	W. columbiana	Promedio
Aminoácidos esenciales ¹					
Arginina	4,29	5,25	4,86	3,78	4,54
Histidina	1,89	2,15	1,90	1,18	1,78
Isoleucina	3,87	3,75	3,76	3,06	3,61
Fenilalanina	4,45	4,20	4,38	3,60	4,16
Leucina	7,15	6,85	6,88	5,83	6,68
Lisina	4,13	4,30	4,38	3,60	4,16
Metionina	0,83	0,83	1,07	0,87	0,90
Treonina	3,20	3,45	3,31	2,55	3,12
Valina	4,96	4,40	4,71	3,49	4,39
Aminoácidos no esenciales ¹					
Alanina	4,59	4,48	4,79	3,75	4,40
Acido aspártico	7,12	7,55	7,38	5,63	6,92
Acido glutámico	7,60	8,00	7,69	5,76	7,26
Glicina	3,79	3,95	3,93	3,04	3,68
Prolina	2,93	3,28	2,95	2,41	2,89
Serina	2,61	2,80	2,83	2,28	2,63
Tirosina	2,91	3,05	3,14	2,17	2,82
Acidos nucleicos, %	6,0	6,2	6,3	6,4	6,25
Nx6.25, %	37,5	40,0	42,0	44,7	41,1

¹ Expresado en g/100 g de proteína

Fuente de los datos: Rusoff *et al.* (1980)

20), pero sí se notó una declinación en los índices digestivos de distintos nutrientes, a medida que aumentaba el nivel de incorporación de la espinaca acuática en la comida, probablemente debido al nivel relativamente alto de minerales y fibra de la macrofitas. Es interesante hacer notar que la digestibilidad de la fibra cruda no pareció estar influida por el nivel dietético de espinaca acuática, y también que la digestibilidad de esta fibra cruda pareció disminuir cuando los cerdos incrementaron su peso corporal.

Tal vez el mérito que tiene este experimento de Le Thi (1999) en comparación con otros, pudiera radicar en que se pudieron comparar los datos de digestibilidad de dietas contentivas de espinaca acuática con una control que no la contenía. De esta forma, se pudo valorar cuantitativamente el efecto de incluir un alimento fibroso y rico en sustancias minerales dentro de la comida. Sin embargo, algunos detalles no fueron suficientemente bien descritos, tales como la técnica para la determinación de la digestibilidad del extracto etéreo o grasa cruda, que influye negativamente en este índice, si las

muestras no son sometidas a una hidrólisis ácida. Como consecuencia, esto también repercute negativamente en el cálculo de la digestibilidad del ELN.

Otra información de la que no se tuvo conocimiento en estos trabajos de Canthó fue la relativa al contenido calorífico de las macrofitas, de las dietas que fueron formuladas para incluirlas, y de su digestibilidad y retención de energía, de lo que resta aún mucho por conocer.

Los resultados del balance de N del experimento anteriormente reseñado se muestran en el Cuadro 21. El balance de N pareció ser desfavorable para los cerdos a medida que se incrementó el consumo de la espinaca acuática, tanto para los animales en crecimiento como en acabado, y esto indudablemente fue una consecuencia de un posible desbalance de aminoácidos. Los datos no parecieron estar ajustados a un consumo constante de N, lo que complicaría la interpretación de los resultados.

En Camboya se han hecho varios experimentos destinados a estudiar la digestibilidad de dietas contentivas de espinaca acuática en condiciones *in vivo* e *in vitro*. Por ejemplo, Ly *et al.* (2002a)

Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico

Cuadro 16. Contenido de aminoácidos y proteína de lemna y espinaca acuática. Datos del sur de Vietnam

	Lemna	Espinaca acuática	Alfalta	Harina de soya
Aminoácidos esenciales ¹				
Arginina	6,7	6,0	4,1	7,4
Histidina	2,2	1,6	2,2	2,8
Isoleucina	4,0	3,8	4,0	4,6
Fenilalanina	5,3	5,2	4,9	5,3
Leucina	7,6	7,2	7,1	7,8
Lisina	4,2	4,2	4,3	6,3
Metionina	1,9	1,7	2,5	3,0
Treonina	4,2	4,1	4,1	4,0
Valina	5,6	5,2	5,0	4,7
Aminoácidos no esenciales ¹				
Alanina	5,9	5,2	4,9	4,4
Acido aspártico	9,4	16,2	11,5	11,8
Acido glutámico	9,9	4,5	9,4	18,0
Glicina	4,1	4,3	4,9	4,4
Prolina	4,0	3,3	4,9	5,2
Serina	4,5	4,1	4,3	5,2
Tirosina	3,9	3,7	3,3	3,8
Nx6.25, %	33,2	26,4	18,8	51,8
Protelna verdadera ²	83,2	80,4	81,4	98,7

¹ Expresado en g/100 g de proteína

² Expresado como la suma de todos los aminoácidos

Fuente de los datos: Bui Huy (2000)

determinaron índices digestivos en cerdos en crecimiento alimentados exclusivamente con arroz partido y espinaca acuática dada en forma fresca y troceada *ad libitum*, y niveles variables de DL-metionina sintética, debido a que este aminoácido suele estar en forma deficitaria en la espinaca acuática. En este sentido, la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica tendieron a decrecer y la del N a aumentar, como consecuencia de elevar el nivel de DL-metionina en el alimento (Cuadro 22). Esto tal vez fue una consecuencia de que también hubo un ligero aumento del consumo voluntario de los cerdos al aumentar la suplementación de este aminoácido en la comida (vide infra Cuadro 32).

Prak (2003) informó el resultado de un estudio en el que se adicionó aceite de palma al alimento para compensar el descenso en la densidad energética de la dieta debido a la inclusión de altos niveles de espinaca acuática dada fresca y troceada a los cerdos. El resultado de este experimento aparece en el Cuadro 23.

La incorporación de aceite de palma determinó un descenso efectivo en la digestibilidad de todos los índices medidos, con excepción del N. En este sentido, los tratamientos ensayados no parecieron mostrar tampoco influencia alguna en la retención del N, se expresara ésta como por ciento del consumo o de la digestión.

Desde el punto de vista de la

Cuadro 17. Digestibilidad boca-recto de cerdos en crecimiento alimentados con harina de lemna. Datos mexicanos

	Lemna gibba, %	
	-	10
Digestibilidad, %		
Materia seca	84,3	81,3
Nitrógeno	71,6	67,2
Energía	91,1	91,4

Fuente de los datos: Gutiérrez (2000)

Cuadro 18. Digestibilidad boca-recto en cerdos en crecimiento alimentados con macrofitas acuáticas flotantes (30% en la dieta)

	Composición, %		Digestibilidad, %	
	Lemna	Espinaca acuática	Lemna	Espinaca acuática
Dietas				
Materia orgánica	87,9	86,3	83	82
Fibra detergente ácido	5,7	8,7	66	65
Fibra detergente neutro	10,4	9,8	72	69
Lignina	1,0	3,3	nd	nd
Extracto etéreo	7,0	5,5	72	75
N	2,13	2,13	70	65
Plantas acuáticas				
Materia orgánica	87,9	86,3	-	-
Fibra detergente ácido	19,1	28,6	-	-
Fibra detergente neutro	33,9	33,3	-	-
Lignina	3,2	10,9	-	-
Extracto etéreo	13,8	7,1	-	-
N	4,85	4,83	-	-

nd expresa no determinado

Fuente de los datos: Nguyen Nhut (2001)

digestibilidad boca-recto de dietas contentivas de niveles variables de harina de azolla, Alcantara y Querubin (1989) informaron no hallar diferencias de importancia en los índices digestivos de cerditos que se alimentaron con estas dietas después del destete o en el llamado período de crecimiento. Los resultados de Alcantara y Querubin (1989) se presentan en el Cuadro 24.

Otros estudios in vivo de digestibilidad han implicado el uso de animales intactos o preparados quirúrgicamente con una anastomosis ileorrectal, con el fin de determinar la digestibilidad ileal de distintas macrofitas, tales como la azolla, la lemna y el jacinto de agua (Domínguez y Ly 1996, Domínguez *et al.* 1997).

Domínguez y Ly (1997) utilizaron cerdos

en crecimiento intactos alimentados con distintos niveles de harina de azolla, para determinar la digestibilidad de nutrientes y el balance de N y energía. En este estudio (Cuadro 25) se encontró que la incorporación de 19% de harina de azolla en la dieta determinó que el 45% del N dietético proviniera de esta planta acuática. Evidentemente, un nivel considerable de azolla en la comida hizo que descendieran los valores del balance de N y energía, muy probablemente debido al contenido de pared celular y de minerales de este helecho acuático. Por otra parte, la digestibilidad hallada para la azolla fue comparable a la de la alfalfa.

En otro estudio llevado a cabo en La Habana, se determinó la digestibilidad ileal de dietas que contenían niveles variables de

Cuadro 19. Influencia de suministrar espinaca acuática entera o troceada a cerdas gestantes. Índices digestivos de las dietas

	Espinaca acuática	
	Entera	Troceada
Consumo de la macrofita, % de la dieta	34,7	36,4
Digestibilidad boca-recto, %		
Materia seca	60,6	68,4
Materia orgánica	71,5	76,0
Fibra cruda	70,8	71,6
ELN	85,6	91,3
N	69,9	70,7

Fuente de los datos: Le Thi (1999)

Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico

Cuadro 20. Influencia del nivel de inclusión de espinaca acuática en dietas de arroz para cerdos en crecimiento y en acabado. Digestibilidad boca-recto

Digestibilidad, %	Espinaca acuática, %			
	- ¹	7	14	21
Cerdos en crecimiento (30-50 kg)				
Materia seca	90,1	89,3	88,5	88,7
Materia orgánica	92,3	91,5	90,8	90,9
Fibra cruda	75,0	75,2	75,2	75,2
Extracto etéreo	63,8	59,5	56,2	56,7
ELN	95,8	96,3	96,0	96,5
Nitrógeno	90,8	87,4	86,8	85,4
Cerdos en acabado (50-80 kg)				
Materia seca	90,1	89,2	88,9	88,1
Materia orgánica	92,0	91,2	90,0	90,1
Fibra cruda	70,3	69,4	70,1	69,6
Extracto etéreo	69,0	68,5	65,6	64,8
ELN	95,5	95,4	94,2	94,4
Nitrógeno	90,0	88,4	88,2	86,9

¹ Dieta básica de arroz partido, afrecho de arroz y harinas de soya y pescado (45.5:42:6:5 respectivamente)
Fuente de los datos: Le Thi (1999)

harina de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), lemna (*Lemna minor*) o azolla. Los resultados de este experimento aparecen en el Cuadro 26.

De acuerdo con esta información, la digestibilidad ileal del N y la energía es más favorable con la lemna y la azolla, cuando se comparan sus valores con los del jacinto de agua. El descenso que siempre se observó claro que puede explicarse fundamentalmente porque la inclusión de las macrofitas acuáticas en las dietas implica un aumento en el contenido de ceniza y fibra, que hacen las dietas más indigestibles mientras más de estos dos principios estén

incluidos en las mismas.

En el experimento de Domínguez et al. (1996) se encontró que la digestibilidad *in vivo* del N, ileal, fue mejor para la harina de azolla, y peor para la harina de jacinto de agua (Cuadro 27). Al mismo tiempo se halló una correspondencia efectiva entre estos datos de digestibilidad *in vivo* y los de digestibilidad *in vitro* del N, hechos con incubaciones de las muestras con pepsina y pancreatina.

Con respecto a estudios *in vitro*, se han hecho distintas evaluaciones de la digestibilidad de las macrofitas acuáticas, mediante incubaciones con pepsina y

Cuadro 21. Influencia del nivel de inclusión de espinaca acuática en dietas de arroz para cerdos en crecimiento y en acabado. Balance de N

	Espinaca acuática, %			
	- ¹	7	14	21
Cerdos en crecimiento (30-50 kg)				
Balance, g/día				
Consumo	39,22	39,09	40,79	41,45
Retención	27,59	25,67	25,48	25,25
Retención, % del consumo	70,6	67,0	62,7	60,7
Retención, % de la digestión	77,7	76,5	72,1	70,8
Cerdos en acabado (50-80 kg)				
Balance, g/día				
Consumo	57,48	60,38	61,04	62,32
Retención	39,34	41,56	41,22	41,29
Retención, % del consumo	68,5	68,9	66,9	65,9
Retención, % de la digestión	76,1	78,0	75,8	75,6

¹ Dieta básica de arroz partido, afrecho de arroz y harinas de soya y pescado (45.5:42:6:5 respectivamente)
Fuente de los datos: Le Thi (1999)

Cuadro 22. Digestibilidad boca-recto en cerdos en crecimiento alimentados con espinaca acuática¹ y arroz partido. Efecto del nivel de DL-metionina

Digestibilidad, %	DL-metionina, %			
	-	0.25	0.50	0.75
Materia seca	88,3	85,8	83,3	81,4
Materia orgánica	90,8	87,2	85,7	82,8
Nitrógeno	72,8	73,4	74,1	74,7

¹ Dada en forma fresca, troceada, ad libitum

Fuente de los datos: Ly *et al.* (2002a)

Cuadro 23. Efecto de incluir aceite de palma en dietas de cerdos en crecimiento alimentados con espinaca acuática. Digestibilidad y balance de N

Digestibilidad, %	Aceite de palma, %			
	-	5	10	15
Materia seca	89,2	87,2	85,0	84,0
Cenizas	72,4	65,9	61,0	60,4
Materia orgánica	90,4	88,1	85,4	85,0
Fibra cruda	62,7	58,3	61,7	58,8
Nitrógeno	77,1	80,2	78,0	79,9
Retención de N				
Como % del consumo	53,9	54,3	55,9	55,5
Como % de la digestión	69,5	67,6	71,4	69,0

Fuente de los datos: Prak (2003)

pancreatina, simulando la digestibilidad in vivo en cerdos. Los resultados de estas investigaciones se muestran en el Cuadro 28. Merece destacarse que de las macrofitas acuáticas examinadas, solamente el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) presentó valores considerablemente bajos en el tenor de N de su biomasa. Igualmente, los índices de solubilidad fueron comparativamente más bajos que el de las otras plantas acuáticas. De estas últimas, las muestras de azolla y lemna presentaron valores de solubilidad de N francamente altos para ser alimentos

fibrosos, mientras que la espinaca acuática no pareció destacarse en este sentido.

USO DE PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

En comparación con lo que se sabe sobre rasgos de comportamiento en aves alimentadas con lemnáceas (Truax *et al.* 1972, Muztar *et al.* 1976, Hausten *et al.* 1990, Kraft *et al.* 1995), son pocos los experimentos informados donde se han hecho pruebas de crecimiento con cerdos. Aún en esta especie, existen más resultados

Cuadro 24. Índices digestivos boca-recto de cerdos en crecimiento alimentados con harina de azolla. Datos filipinos

	Digestibilidad, %		
	MS	Fibra cruda	N
Inicio (16-26 kg)			
0 ¹	90,5	71,9	87,6
5	87,2	66,4	77,9
10	86,3	69,9	89,6
15	87,6	71,6	71,6
Crecimiento (35-60 kg)			
0 ¹	83,5	52,5	84,2
10	82,5	59,0	82,6
20	81,3	57,6	81,5
30	83,3	56,0	84,3

¹ Sustitución de afrecho de arroz por harina de azolla

Fuente de los datos: Alcantara y Querubin (1989)

Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico

Cuadro 25. Balance de N y energía en cerdos alimentados con harina de azolla. Datos cubanos

	Harina de azolla, %		
	-	9.5	19.0
Digestibilidad, %			
Materia seca	91,3	86,8	83,9
Ceniza	75,6	69,5	71,5
Materia orgánica	93,1	90,5	89,1
Fibra cruda	48,0	55,5	61,6
FDN	64,9	72,5	71,7
Nitrógeno	82,7	75,2	71,2
Energía	92,0	88,6	86,9
Retención de N			
Por ciento del consumo	59,6	53,9	48,8
Por ciento de la digestión	71,9	71,8	68,4
Retención de energía			
Por ciento del consumo	89,4	86,4	83,8
Por ciento de la digestión	97,2	97,5	96,5

Fuente de los datos: Domínguez y Ly (1997)

de trabajos hechos para determinar la digestibilidad de lemna que en lo referente a los de pruebas de comportamiento. Sin embargo, los pocos trabajos con datos disponibles, indican que la lemna es un buen componente de la dieta de los cerdos, cuando se utiliza para reemplazar parte de la proteína del alimento. Como ilustración, en Xochimilco se hizo un estudio de la posibilidad del uso de una lemnacea, la Lemna gibba, como alimento para cerdos en crecimiento (Gutiérrez 2000). En este

experimento, no se encontró diferencia entre tratamientos, con un 10% de inclusión de harina de lemna en el alimento (Cuadro 29).

Los datos correspondientes al uso de azolla en experimentos hechos para evaluar rasgos de comportamiento en cerdos y aves son más numerosos, y por otra parte, esencialmente filipinos. Estos datos se resumen en el Cuadro 30.

Como es fácil resumir de estos resultados, no existe desventaja en los rasgos de comportamiento cuando se

Cuadro 26. Digestibilidad ileal en cerdos alimentados con harina de macrofitas acuáticas flotantes. Datos cubanos

	Nivel en dieta, %		
	-	10	20
Jacinto de agua			
Materia seca	81,4	76,2	68,5
Fibra cruda	17,5	17,0	18,6
FDN	30,4	30,9	30,0
N	70,3	58,1	50,7
Energía	85,8	79,5	75,2
Lemna			
Materia seca	80,0	78,2	73,4
Fibra cruda	13,3	20,3	30,4
FDN	34,1	42,3	48,8
N	71,9	66,2	64,8
Energía	80,9	79,8	75,4
Azolla			
Materia seca	77,9	76,7	74,8
Fibra cruda	12,0	30,4	44,0
FDN	31,6	41,8	49,9
N	77,9	76,2	74,8
Energía			

Fuente de los datos: Domínguez *et al.* (1996)

Cuadro 27. Digestibilidad del N de macrofitas acuáticas en cerdos

Fuente de nitrógeno	Digestibilidad, %	
	In vivo ¹	In vitro
Caselna	-	96,9
Harina de soya	89,9	91,4
Jacinto de agua	16,2	41,2
Lemna minor	56,0	67,4
Azolla pinnata	64,9	70,1

¹ Calculada por diferencia

Fuente de los datos: Domínguez *et al.* (1996)

Cuadro 28. Digestibilidad in vitro (pepsina/pancreatina)¹ de macrofitas acuáticas flotantes. Datos camboyanos

Macrofitas	N, %	MS soluble, %		N soluble, %	
		Agua	Pepsina y pancreatina	Agua	Pepsina y pancreatina
Azolla pinnata	4,50	56,7	52,2	73,6	76,6
Eichhornia crassipes	2,31	45,3	33,3	59,3	50,5
Ipomoea aquatica	3,49	45,4	42,1	64,3	54,6
Lemna minor (fresca)	4,03	70,0	51,2	73,7	75,4
Lemna minor (secada al sol)	4,74	56,8	56,4	65,5	62,2
Pistia stratiotes	5,54	31,4	40,0	81,5	62,2
Spirodella polyrhiza	4,57	40,8	40,0	68,1	54,2

¹ Digestibilidad in vitro simulando la digestibilidad ileal in vivo

Fuente de los datos: Ly *et al.* (2002b)

suministra a los animales hasta una tercera parte de la dieta en forma de azolla, y lo que es más importante, preparada de distintas formas. Es lógico asumir que cierto deterioro en la conversión alimentaria debe ser la respuesta a la incorporación de este material en la comida, ya que contiene una cantidad sustancial de pared celular (vide supra).

La mayor parte de los resultados correspondientes a rasgos de comportamiento en cerdos alimentados con espinaca acuática son vietnamitas y camboyanos hasta el momento. En el único experimento registrado en el que se hicieron evaluaciones de rasgos reproductivos, Le Thi (1999) estudió el efecto de suministrar espinaca acuática a cerdas gestantes. Con un 30% de inclusión en el alimento, en este estudio vietnamita no se halló ninguna

respuesta negativa de los animales (Cuadro 31).

Los datos camboyanos se han dirigido al estudio de fuentes de aminoácidos azufrados como posibles agentes para mejorar los rasgos de comportamiento en cerdos en crecimiento. En el experimento de Ly *et al.* (2002b), se notó que cuando se incorporaba DL-metionina a dietas de arroz partido y espinaca acuática, aumentaba notablemente el aumento de peso y la conversión alimentaria en cerdos locales, que no suelen manifestar rasgos de comportamiento sobresalientes al estilo occidental debido a su potencial genético *suis generis* (Cuadro 32).

En otro experimento camboyano, Prak (2003) probó niveles de harina de pescado local incluida en niveles crecientes de dietas

Cuadro 29. Rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento alimentados con harina de lemna

	Lemna, %	
	-	10
Peso inicial, kg	23,3	24,2
Peso final, kg	66,4	69,8
Consumo MS, kg/día	2,09	2,23
Ganancia, g/día	730	770
Conversión, kg MS/kg	2,93	2,96

Fuente de los datos: Gutiérrez (2000)

Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico

Cuadro 30. Rasgos de comportamiento en cerdos alimentados con azolla

Rango de peso, kg	Nivel en dieta, %	Consumo, kg MS	Ganancia, g/día	Conversión, kg MS/kg	Fuente de los datos
16-25	0	0,76	223	3,40	Alcantara y Querubín (1989)
	5 ¹	0,86	265	3,25	
	10	0,86	295	2,92	
	15	0,86	257	3,33	
35-60	0	2,28	557	4,11	Alcantara y Querubín (1989)
	10 ¹	2,24	540	4,15	
	20	2,37	560	4,23	
	30	2,30	520	4,42	
33-59	0	2,26	701	3,22	Querubín <i>et al.</i> (1988)
	20 ²	2,30	728	3,16	
	20	2,35	738	3,18	
24-89	0	2,27	482	4,73	Becerra <i>et al.</i> (1990)
	15 ³	2,33	475	4,90	
	30	2,39	454	5,26	

¹ En forma de harina

² Más maíz solamente o con miel de caña de azúcar

³ Fresca, marchitada

Cuadro 31. Rasgos reproductivos en cerdas alimentadas con espinaca acuática

Concepto	Espinaca acuática, %	
	-	30
Tamaño de la camada		
Al nacimiento	9,2	10,2
A los 21 días	8,5	9,5
Peso de los cerditos, kg		
Al nacimiento	1,2	1,3
A los 21 días	4,7	4,8
A los 35 días	7,5	7,5
Cambios de peso de la cerda, kg		
Ganancia en gestación	36,9	42,0
Pérdida en lactancia	22,3	25,8

Fuente de los datos: Le Thi (1999)

de arroz partido y espinaca acuática. De acuerdo con la evidencia experimental, fue notorio la mejoría creciente en los rasgos de comportamiento de los cerdos con el aumento del nivel de harina de pescado en la dieta, en coincidencia con resultados semejantes encontrados anteriormente por el mismo equipo de trabajo en Phnom Penh (Ly *et al.* 2002b).

CONCLUSIONES

Es innegable que las macrofitas acuáticas flotantes, y específicamente las lemnáceas, la azolla y la espinaca acuáticas, poseen suficientes cualidades, fundamentalmente por su gran capacidad de adaptación al habitat, como para ser incluídas en sistemas simples o complejos de

depuración de residuales y de reciclado de nutrientes.

Pudieran considerarse como limitantes para su uso en alimentación animal el hecho de que poseen un alto contenido de humedad y de elementos minerales. Sin embargo, es posible eliminar el agua por métodos sencillos de secado, muy conocidos, y también no solamente reducirlas a harina, sino también conservarlas en forma de ensilado. En cuanto a su contenido mineral, está por ver hasta qué punto es beneficioso, y por lo tanto hasta dónde no es necesario añadir, algunos elementos minerales que se suelen incluir comúnmente en las fórmulas alimentarias. Por otra parte su cultivo y cosecha no son difíciles, y se ven recompensados con altos rendimientos anuales, incluyendo la proteína

Cuadro 32. Rasgos de comportamiento en cerdos en crecimiento alimentados con arroz partido y espinaca acuática dada ad libitum¹. Efecto del nivel de DL-metionina

	DL-metionina, %			
	-	0,25	0,50	0,75
Peso, kg				
Inicial	29,2	26,7	28,0	25,1
Final	47,8	44,6	53,8	50,9
Consumo, kg MS/día				
Arroz partido	1,12	1,21	1,15	1,17
Espinaca acuática	0,13	0,17	0,17	0,21
Total	1,25	1,38	1,32	1,38
Consumo de espinaca acuática				
Como % del total	11,5	12,3	12,6	15,0
Proteína aportada, g/día	104	117	112	125
Ganancia, g/día	332	360	442	459
Conversión, kg MS/kg ganancia	4,03	3,92	3,00	3,03

¹ Dada en forma fresca, troceada finamente a mano

Fuente de los datos: Ly *et al.* (2002a)

Cuadro 33. Efecto de incluir harina de pescado en dietas de cerdos en crecimiento alimentados con espinaca acuática. Digestibilidad y balance de N

	Harina de pescado, %			
	-	2	4	6
Dieta, %				
Espinaca acuática	50	43	36	29
Arroz partido	38	43	48	53
Aceite de palma	10	10	10	10
Peso, kg				
Inicial	19,7	20,0	20,7	21,7
Final	54,6	60,8	64,5	70,9
Consumo, kg MS/día	1,05	1,17	1,20	1,33
Ganancia, g/día	309	370	399	436
Conversión, kg MS/kg ganancia	3,51	3,15	3,00	3,05

Fuente de los datos: Prak (2003)

entre éstos. Desde el punto de vista de sus varias ventajas nutricionales, pudiera mencionarse la ausencia de factores antinutricionales en la biomasa de estas macrofitas, y su alto contenido de caroteno y proteína.

Indudablemente que las macrofitas acuáticas flotantes merecen ser estudiadas más concienzudamente, pero con lo que ya se sabe de ellas, se pueden poner en práctica muchas iniciativas para ser incluídas en circuitos de depuración de residuales y obtención simultánea de alimento para los animales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcantara, P.F. y Querubin, L.J. 1982. Feeding value of azolla meal for swine. In: Proceedings of the 21st Convention of

the Philippine Society of Animal Science.

Alcantara, P.F. y Querubin, L.J. 1985. Feeding value of azolla meal for broilers. Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences, 11:1-8

Alcantara, P.F. y Querubin, L.J. 1989. Feeding value of azolla meal (mixed variety) for starter and growing pigs. Philippine Journal of Veterinary Science, 15:22-29

Almazan, G.J., Pullin, R.S.V., Angeles, A.F., Manalo, T.A., Agbayani, R.A. y Trono, M.T.B. 1986. Azolla pinnata as a dietary component for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. In: First Asian Fisheries Forum (J.L. Maclean, L.B. Dizon y L.V. Hosillos, editores). Manila, 1:523-528

- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G. y Preston, T.R. 1990. *Azolla filiculoides* as practical replacement for traditional protein supplements in diets for growing-finishing pigs based on sugar cane juice. *Livestock Research for Rural Development*, 2:15-22
- Boyd, C.E. 1968. Fresh-water plants: a potential source of protein. *Economic Botany*, 22:359
- Boyd, C.E. 1973. A bibliography of interest in utilization of vascular aquatic plants. *Economic Botany*, 26:74-84
- Boyd, C.E. 1976. Accumulation of dry matter, nitrogen and phosphorus by cultivated water hyacinths. *Economic Botany*, 30:51-56
- Buckingham, K.W., Ela, S.W., Morris, J.G. y Goldman, C.R. 1978. Nutritive value of the nitrogen-fixing aquatic fern *Azolla filiculoides*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 26:1230-1234
- Bui Huy, N.P. 2000. Tropical forages for growing pigs. Digestion and nutritive value. Tesis Doctoral. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, pp
- Cagauan, A.G. y Pullin, R.S.V. 1994. *Azolla* in aquaculture: past, present and future. In: *Recent Advances in Aquaculture* (J.F. Muir y R.J. Roberts, editores). Blackwell Scientific Limited. Oxford, p 104-130
- Calvert, H.E., Pence, M.K. y Peters, G.A.. 1985. Ultrastructural ontogeny of leaf cavity trichomes in *Azolla* implies a functional role in metabolite exchange. *Protoplasm*, 129:10-27
- Castillo, L.S. 1983. Feeding value of crop residues of food crops grown in rice-based farming systems. In: *Asian cropping systems network. Crop-Livestock Research Workshop*. International Rice Research Institute. Los Banos. Laguna, p 384-406
- Chang, S.M., Yang, C.C. y Sung, S.C. 1977. *Bulletin of Industrial Chemistry (Academia Sinica)* 24:119
- Chen, D.F. y Huang, C.Y. 1987. Study on *Azolla* as a fish fodder. In: *Proceedings of the Workshop on Azolla Use*. International Rice Research Institute. Manila, p 270
- Coche, A.G. 1980. Freshwater aquaculture development in China. *FAO Fisheries Technical Paper No. 215*. Roma
- Culley, D.D. y Epps, E.A. 1973. Uses of duckweed for waste treatment and animal feed. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 45:337-343
- Diamond, R.B. 1985. Availability and management of phosphorus in wetland soils in relation to soil characteristics. In: *Wetland soils: characterization, classification and utilization*. International Rice Research Institute. Los Banos at Laguna, p 269-283
- Dinges, R. 1983. The employment of floating macrophytes for depuration and biomass production. In: *Phytodepuration and use of the produced biomasses* (P.F. Ghetti, editor). Centro di Ricerche e Produzioni Animali. Reggio Emilia, pp 389
- Domínguez, P.L. y Ly, J. 1997. N balance and energy in pigs fed sugar cane molasses and *Azolla* meal (*Azolla* spp). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 31:69-68
- Domínguez, P.L., Molinet, Y. y Ly, J. 1996. Ileal and in vitro digestibility in the pig of three floating aquatic macrophytes. *Livestock Research for Rural Development*, 8(4):37-44
- Edie, H. y Ho, B.C. 1979. *Ipomoea aquatica* as a vegetable crop in Hong Kong. *Economic Botany*, 23:32-36
- Edwards, P. 1980. The production of microalgae on human wastes and their harvest by herbivorous fish. In: *Algae Biomass* (G. Shelef y G.J. Soeder, editores). Elsevier/North Holland Biomedical Press. Amsterdam
- El Sayed, A.F.M. 1992. Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Fisheries Management*, 23:167-173
- Espinasa, C.N.S., Bibja, D.S., Del Rosario, A. y Watanabe, F. 1979. Environmental conditions affecting *azolla* growths. *Greenfields*, 9:20-28

- Gavina, L. 1987. Swine-duck-fish-azolla integration in skyponds of La Union, Philippines. In: Workshop on Swine and Poultry Husbandry. International Foundation of Science Provisional Report No. 22. Stockholm, p 63-70
- Gutiérrez, K. 2000. Potencial de la planta acuática *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos. Tesis M.Sci. Pecuarias. Universidad de Colima. Tecomán, pp 63
- Hausten, A.T., Gilman, R.H., Skillicorn, A.V., Vergara, V., Guevara, V. y Gastañaduy, A. Poultry Science, 69:1835-1844
- Hillman, W.S. 1961. The Lemnaceae, or duckweeds. A review of the descriptive and experimental literature. Botanical Reviews, 27:221-287
- Hillman, W.S. y Culley, D.D. 1978. The uses of duckweed. American Scientist, 66:442-451
- Holm, L.G., Widdon, L.W. y Blackburn, R.D. 1969. Aquatic weeds. Science, 66:699-709
- Jain, S.K., Gujral, G.S. y Vasudevan, F. 1987. Potential utilization of water spinach (*Ipomoea aquatica*). Journal of Scientific Indian Research, 46:77-78
- Joseph, A., Sherief, P.M. y James, T. 1994. Effect of different dietary inclusion levels of *Azolla pinnata* on the growth, food conversion and muscle composition of *Etroplus suratensis* (Bloch). Journal of Aquaculture in the Tropics, 9:87-94
- Joyce, J.C. 1990. Practical uses of aquatic weeds. In: Aquatic Weeds (A.H. Pietersen y K.J. Murphy, editores). Oxford University Press. Oxford, p 274-291
- Keak, P. 2003. Response of pigs fed a basal diet of water spinach (*Ipomoea aquatica*) to supplementation with oil or carbohydrate .M.Sci. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, pp 58
- Kean, S. 2002. Environment, human welfare and water recycling: the role of low-cost plastic biodigester. M.Sci. Thesis. Royal University of Agriculture. Phnom Penh, pp 59
- Krachang, B. y McGarry, M.G. 1971. *Wolffia arrhiza* as possible source of inexpensive protein. Nature, 232:495
- Kraft, S., Miazzo, R.D. y Picco, M. 1995. La lenteja de agua (*Lemna sp*) en nutrición aviar. Revista Argentina de Producción Animal, 15:703-705
- Lales, J.S., Lapitan, M.A. y Marte, R.W. 1989. Azolla-rice fish culture. In: Azolla: its culture, management and utilization in the Philippines. National Azolla Action Program. Manila, p 167-177
- Le Ha, C. 1998. Biodigester effluent versus manure from pigs and cattle as fertilizer for duckweed (*Lemna spp*). Livestock Research for Rural Development, 10(3):version electrónica, <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd10/3/chau103.html>
- Le Thi, M. 1999. Evaluation of water spinach (*Ipomoea aquatica*) for Baxuyen and Large White sows and fattening crossbred pigs. M.Sci. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, pp 79
- Lincoln, E.P., Koopman, B, Bagnall, L.O y Nordstgedt, R.A. 1986. Aquatic system for fuel and feed production from livestock wastes. Journal of Agricultural Engineering Research, 33:159-169
- Little, E.C.S. y Henson, I.E. 1967. The water content of some important tropical water weeds. Re Article News Summaries, 13:223-227
- Little, D. y Muir, J. 1987. A guide to integrated warm water aquaculture. Institute of Aquaculture. W.M. Bett Limited. Tillycoultry, p 59-70
- Lumpkin, T.A. y Plucknett, D.L. 1980. *Azolla* – Botany, physiology and use as a green manure. Economic Botany, 34:111-153
- Lumpkin, T.A. y Plucknett, D.L. 1982. *Azolla* as a green manure: use and management in crop production. Westview Tropical Agricultural Series No. 5. Westview Press. Boulder, pp 230
- Ly, J., Hean, P., Keo, S. y Pok, S. 2002a. The effect of DL-methionine supplementation on digestibility and performance traits of growing pigs fed broken rice and water spinach (*Ipomoea aquatica*). Livestock Research for Rural

- Development, 14(5):versión electrónica, <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/5/ly145.html>
- Ly, J., Pok, S. y Preston, T.R. 2002b. Nutritional evaluation of aquatic plants for pigs. Pepsin/pancreatin digestibility of six plant species. *Livestock Research for Rural Development*, 14(1):versión electrónica, <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/1/ly141.html>
- Muztar, A.J., Slinger, S.J. y Burton, J.H. 1976. Nutritive value of aquatic plants for chicks. *Poultry Science*, 55:1917-1922
- Myers, L.W. 1977. A comparative study of nutrient composition and growth by selected duckweeds, Lemnaceae, on dairy waste lagoons. M.Sci. Thesis. Louisiana State University, pp 74
- NAAP. 1985. National Azolla Action Program Annual Report. College at Laguna, pp 88
- NAAP 1987. Growing azolla from spores. National Azolla Action Program. College at Laguna, pp 16
- Naegel, L.C.A. 1998. Evaluation of three azolla varieties as a possible feed ingredient for tilapias. *Animal Research and Development*, 48:31-42
- Nguyen Duc, A., Huu, T. y Preston, T.R. 1997. Effect of management practices and fertilization with biodigester effluent on biomass yield and composition of duckweed. *Livestock Research for Rural Development*, 9(1): versión electrónica, <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd9/1/anh91.html>
- Nguyen Nhut, X.D. 2001. Evaluation of green plants and by-products from the Mekong delta with emphasis on fibre utilization by pigs. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, pp 138
- Pantastico, J.B., Baldia, S.F. y Reyes, D.M. 1986. Tilapia (*O. nilotica*) and Azolla (*A. pinnata*) cage farming in Laguna Lake. *Fisheries Research Journal of Philippines*, 11:21-28
- Peters, G.A., Calvert, H.E., Kaplan, D., Ito, O. y Toia, R.E. 1982. The Azolla-Anabaena symbiosis: Morphology, physiology and use. *Israel Journal of Botany*, 31:305-323
- Porath, D., Hopher, B. y Koton, A. 1979. Duckweed as an aquatic crop: evaluation of clones for aquaculture. *Aquatic Botany*, 7:233-278
- Querubin, L.J., Alcantara, P.F. y Princesa, A.O. 1986. Chemical composition of three Azolla species (*A. caroliniana*, *A. microphylla* and *A. pinnata*) and feeding value of Azolla meal (*A. microphylla*) in broiler ration. *Philippine Agriculturist*, 69:479-490
- Querubin, L.J., Alcantara, P.F., Luis, E.S., Princesa, A.O. y Pagasas, V.O. 1988. Azolla (*A. microphylla*) silage for growing pigs. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Science*, 14:84-96
- Rakotonaivo, G.W. y Schramm, M. 1989. La multiplication d'azolla sur les hauts plateaux malgaches. *Beitrage zur tropischen Landwirtschaftlichen Veterinär Medizin*, 27:411-419
- Ravindran, V. y Blair, P. 1992. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific region. II. Plant protein sources. *World's Poultry Science Journal*, 48:205-231
- Rusoff, L.L., Blakeney, E.W. y Culley, D.D. 1980. Duckweeds (Lemnaceae Family): a potential source of protein and amino acids. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 28:848-850
- Rusoff, L.L., Gantt, D.T., Williams, D.M., y Gholson, J.H. 1977. *Journal of Dairy Science*, 60(supplement 1):161
- Rusoff, L.L., Zeringue, S.P., Achacoso, A.S. y Culley, D.D. 1978. *Journal of Dairy Science*, 61(supplement 1):186
- Said, Z.M., Culley, D.D., Stndifer, L.C., Epps, E.A., Myers, R.N. y Boney, S.A. 1979. Proceedings of the Annual Meeting of the World Mariculture Society
- Salomoni, C., Canudi, S., Giacometti, N. y Caputo, A. 1991. Microalgae-zooplankton-free floating macrophytes system as an intensive means for recycling swine manure. In: *Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and*

- Perspectives (P. Madoni, editor). Perugia, p 361-365
- San, T. 2003. Management and utilization of biogasifiers in integrating farming systems. M.Sci. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, pp 77
- Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Reyes, O.S. y Laron, M.A. 1988. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry to diets containing Azolla meal. In: Proceedings of the Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture (S.V.R. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthay y J.L. Maclean, editores). Manila, p 377-382
- Shiomi, N. y Kitoh, S. 1994. Culture of *Azolla filiculoides* Lam. in a pond and its use as feed. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes (N.A. Hegazi, M. Fayez y M. Monie, editores). American University Cairo Press. El Cairo, p 463-468
- Subudhu, B.P.R. y Watanabe, I. 1981. Differential phosphorus requirements of *Azolla* species and strains in phosphorus-limited continuous culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 27:237-247
- Tan, Y.T. 1970. Composition and nutritive value of some grasses, plants and aquatic weeds tested as diets. *Journal of Fish Biology*, 2:253-267
- Tiwari, N.C. y Chandra, V. 1985. Water spinach, its varieties and cultivation. National Botanical Research Institute. Indian Horticulture
- Welch, P.S. 1951. *Limnology*. McGraw-Hill Book Company Inc. New York, pp 538
- Wolverton, B.C. 1987. Aquatic plants for wastewater treatment: an overview. In: *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery* (K.R. Reddy y W.H. Smith, editors). Magnolia Publishing Inc. Orlando, p 3-15
- Wolverton, S.C. y McDonald, R.C. 1979. The water hyacinth from prolific pest to potential provider. *Ambio*, 8:2-9
- Yount, J.L. y Crossman, R.A. 1970. Eutrophication control by plant harvesting. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 42:R173-183
- Zirschky, J. y Reed, S.C. 1988. The use of duckweed for wastewater treatment. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 60:1253.