

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (*OREOCHROMIS* SPP.)

UTILIZATION OF THE DUCKWEED (LEMNACEAE) IN THE PRODUCTION OF TILAPIA (*OREOCHROMIS* SPP.)

Zetina Córdoba, P.^{1*}, Reta Mendiola, J.L.^{2A}, Ortega Cerrilla M.E.^{3A}, Ortega Jiménez E.^{2B}, Sánchez-Torres M.T.E.^{3B}, Herrera Haro, J.G.^{3C} y Becerril Herrera, M.⁴

¹Universidad Politécnica de Huatusco. Veracruz, México. *pzetinac@colpos.mx

²Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio F. Altamirano. Veracruz. México. ^Ajuanreta@colpos.mx; ^Beortegaj@colpos.mx

³Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco. Estado de México. México. ^Ameoc@colpos.mx; ^Bteresa@colpos.mx, ^Charo@colpos.mx

⁴Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Unidad Académica de Ingeniería Agrohidráulica. Teziutlán. Puebla. México. mbh108@hotmail.com

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Lemna. Plantas acuáticas. Proteína vegetal.

ADDITIONAL KEYWORDS

Lemna. Aquatic plants. Vegetable protein.

RESUMEN

La familia Lemnaceae, comprende un grupo de pequeñas plantas acuáticas de rápido crecimiento, que se caracterizan por formar extensos mantos sobre cuerpos de agua con movimiento léntico; su reproducción generalmente es vegetativa. El contenido de proteína que se reporta oscila entre 13-41%, y depende del contenido de nitrógeno en el medio en el cual se desarrolla. Tiene preferencia por el consumo de amonio sobre el nitrato, y asimila una variedad de metales, razón por la cual se ha utilizado para el tratamiento de aguas negras con excelentes resultados. Las producciones de materia seca obtenidas se reportan entre 10-46 t ha⁻¹ año⁻¹. Son consumidas por una gran variedad de animales de interés zootécnico, como aves, rumiantes, no rumiantes, crustáceos y peces; los géneros *Spirodela*, *Lemna* y *Wolffia* se han utilizado para alimentación de tilapia con resultados variables. Los mejores índices productivos, corresponden a la utilización como parte integral de la dieta, con inclusión de 5-30%, sustituyendo parcial o totalmente a la torta de soja, principalmente y resultados similares cuando se sustituye fuentes de proteína animal. Cuando es utilizada como única fuente de alimentación, a una tasa que no debe exceder el 6% del peso corporal (base seca), los resultados son muy

inferiores a los obtenidos con las dietas convencionales. Esto es debido, a la deficiencia de histidina y metionina, aunado a la presencia de factores antinutricionales y contenido de fibra. Las experiencias en policultivos han demostrado que la suplementación con lenteja de agua incrementa la producción por hectárea.

SUMMARY

The family Lemnaceae includes a group of small aquatic plants of fast-growing, that are characterized to form extensive mantles on water bodies with lentic movement; its reproduction is generally vegetative. Protein content of these species ranges from 13 to 41% and varies according to the nitrogen content of the water in which they grow. Nitrogen from ammonium rather than nitrate, and assimilates a variety of metals, making the species amenable for use in treating wastewater with excellent results. Production of dry matter ranges from 10 to 46 t ha⁻¹ year⁻¹. The plants are consumed by several domestic animals such as poultry, ruminants, non-ruminants, crustaceans and fish. The genera *Spirodela*, *Lemna* and *Wolffia* have been used for diet of tilapia with variable results. The best productive

Recibido: 9-2-09. Aceptado: 23-9-10.

Arch. Zootec. 59 (R): 133-155. 2010.

results correspond to the utilization as integral part of the diet, with incorporation of 5-30%, substituting partially or totally soybean meal, principally, and similar results when there are replaced sources of animal protein. Feeding tilapia with these plants as the only source of food at levels no greater than 6% of the body weight (on a dry matter basis) negatively affects growth compared to conventional feeds. This results from the low levels of histidine and methionine, combined to the presence of antinutritional factors and fiber content. The experiences have shown that polyculture with duckweed supplementation increases the production per hectare.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes marinas de proteína (principalmente harina de pescado y subproductos) generalmente enriquecen la palatabilidad del alimento y son excelente fuente de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, vitaminas y minerales (Hardy *et al.*, 2006). Sin embargo, debido a la disminución mundial en los productos de pesquerías, esta fuente de proteína es cada vez más escasa y costosa (Wu *et al.*, 2004; Abdelghany 2003). Ante este panorama, la disponibilidad de alimento suplementario en sistemas extensivos y semiintensivo de producción es clave, razón por la cual se ha explorado la posibilidad de utilizar harinas de semillas, hojas y plantas acuáticas vasculares (Azim y Wahab, 2003). De esta manera, se han estudiado en diversas especies de interés acuícola, *Azolla* (*Azolla* spp.) (Agbede y Falaye, 1997; Leonard *et al.* 1998); lenteja de agua (*Lemna* spp; *Spirodela* spp; *Wolffia* spp.) (Hassan y Edwards, 1992; El-Shafai *et al.*, 2004a); guaje (*Leucaena leucocephala*) (Bairagi *et al.*, 2004); lupino (*Lupinus* spp.) (Burel *et al.*, 1998; Chien y Chiu, 2003); lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (Keke *et al.*, 1994); najas (*Najas guadalupensis*) (Buddington 1979; Cassani y Caton, 1983); alfalfa (*Medicago sativa*) (Yousif *et al.*, 1994; Olvera-Novoa *et al.*, 1990), entre otras. Sin embargo, la utilización de plantas como fuente de proteína en dietas para tilapia,

está limitado por la deficiencia de al menos uno de los aminoácidos esenciales, aunado a la presencia de factores antinutricionales, los cuales reducen el aprovechamiento de estos, además de los niveles de fibra que afectan la digestibilidad de la dieta, por lo cual solo algunas plantas pueden proveer y soportar un buen crecimiento en el pez (Olvera-Novoa *et al.*, 1997; Francis *et al.*, 2001; Hossain *et al.*, 2003).

La familia Lemnaceae ha sido considerada altamente promisoriosa, es consumida por una gran variedad de peces y crustáceos, es una fuente potencial de materia seca con proteína de alta calidad para acuicultores involucrados en el desarrollo de sistemas de producción de bajo costo en el trópico, desafortunadamente, pocos datos cuantitativos están disponibles sobre las tasas de alimentación apropiadas (Hassan y Edwards, 1992; El-Shafai *et al.*, 2004a) o niveles de inclusión en la dietas. Estas plantas crecen muy rápidamente y remueven nutrientes a una tasa mayor que otras macrófitas acuáticas (Oron *et al.*, 1988). En condiciones óptimas de crecimiento, como disponibilidad de nutrientes, luz y temperatura óptima del agua, pueden duplicar su peso cada 2 o 3 días, (Rusoff *et al.*, 1980; Shahidur *et al.*, 2001). Esta tasa de reproducción es más rápida que cualquier otra planta superior, formando densos mantos sobre toda la superficie del cuerpo de agua, especialmente cuando las concentraciones de nitrógeno y fósforo en la columna de agua son altas (Portielje y Roijackers, 1995). Pueden presentar un contenido de proteína entre 15% y 45%, debido a que asimilan grandes cantidades de nitrógeno, principalmente en su forma amoniacal (Caicedo *et al.*, 2000), así como fósforo en la forma de ortofosfato (Cheng *et al.*, 2002b). Cuando se utiliza para el tratamiento de aguas negras, genera biomasa de excelente calidad, debido a que convierte directamente el amonio en proteína, que puede utilizarse posteriormente para alimentación animal o como fertilizante agrícola (Oron, 1994). Se han realizado investi-

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

gaciones en algunas especies de interés zootécnico, como aves, rumiantes, no rumiantes así como peces y crustáceos, sin embargo, los resultados obtenidos han sido muy variables.

La finalidad de esta revisión de literatura es mostrar los resultados obtenidos, los beneficios, problemática e implicaciones que pueden presentarse a los acuicultores y agroacuicultores que planeen utilizar como fuente de alimentación, esta familia de plantas acuáticas.

TAXONOMIA Y REPRODUCCIÓN

La familia Lemnaceae comprende un grupo de pequeñas plantas acuáticas vasculares monocotiledóneas que flotan libremente sobre la superficie del agua, crecen en colonias y frecuentemente desarrollan densos y uniformes mantos, de unos milímetros a algunos centímetros de grosor, en charcas, lagos, lagunas y cuerpos de agua con movimiento léntico (Hillman y Culley, 1978; Rusoff *et al.*, 1980; Zuberer, 1982; Bonono *et al.*, 1997). Se han identificado 5 géneros (**tabla I**): *Landoltia*, *Lemna*, *Spirodela*,

Wolffia, *Wolffiella* y 38 especies, (Les y Crawford, 1999; Les *et al.*, 2002). Son las más reducidas y simples de todas las plantas con flores (Rothwell, 2004), tienen una morfología relativamente sencilla, no tienen tallo ni hoja verdadera, consisten de una o algunas frondas planas de forma ovoide que rara vez, dependiendo de la especie, exceden 12 mm de longitud; la fronda es una fusión de hojas y tallos, esto representa la máxima reducción de una planta vascular entera; cada fronda puede o no presentar raíces, que en condiciones de bajas disponibilidad de nutrientes, pueden variar de unos milímetros a algunos centímetros; estas plantas raramente florecen (Hillman y Culley, 1978; Cole y Voskull, 1996). Los dos géneros más pequeños, *Wolffiella* y *Wolffia* no desarrollan raíces, mientras que el género *Lemna* produce una raíz y el género *Spirodela* produce más de una raíz (Lemon y Posluszny, 2000). Respecto al género *Landoltia*, presenta también más de una raíz. Las 11 especies del género *Wolffia* son los miembros más pequeños de esta familia, tan solo 0,5 - 2 mm de largo, por lo que se consideran las plantas con flores más pe-

Tabla I. Géneros y especies de la familia Lemnaceae. (Genera and species of Lemnaceae).

<i>Landoltia</i>	<i>Lemna</i>	<i>Spirodela</i>	<i>Wolffia</i>	<i>Wolffiella</i>
1 <i>L. punctata</i>	2 <i>L. disperma</i>	16 <i>S. intermedia</i>	18 <i>W. angusta</i>	29 <i>W. caudata</i>
	3 <i>L. ecuadoriensis</i>	17 <i>S. polyrhiza</i>	19 <i>W. arrhiza</i>	30 <i>W. denticulata</i>
	4 <i>L. gibba</i>		20 <i>W. columbiana</i>	31 <i>W. gladiata</i>
	5 <i>L. japonica</i>		21 <i>W. cylindraceae</i>	32 <i>W. lingulata</i>
	6 <i>L. minor</i>		22 <i>W. elongata</i>	33 <i>W. neotropica</i>
	7 <i>L. obscura</i>		23 <i>W. globosa</i>	34 <i>W. oblonga</i>
	8 <i>L. trisulca</i>		24 <i>W. neglecta</i>	35 <i>W. welwitschii</i>
	9 <i>L. turionifera</i>		25 <i>W. australiana</i>	36 <i>W. rotunda</i>
	10 <i>L. aequinoctialis</i>		26 <i>W. borealis</i>	37 <i>W. hyalina</i>
	11 <i>L. perpusilla</i>		27 <i>W. brasiliensis</i>	38 <i>W. repanda</i>
	12 <i>L. tenera</i>		28 <i>W. microscopica</i>	
	13 <i>L. minuta</i>			
	14 <i>L. valdiviana</i>			
	15 <i>L. yungensis</i>			

Adaptado de Les *et al.* (2002).

queñas del mundo (Crawford y Landolt, 1995); en el género *Lemna* las frondas alcanzan de 2 - 5 mm y en *Spirodela* 4 - 12 mm (Lemon *et al.*, 2001).

La familia Lemnaceae tiene la capacidad de reproducción sexual y asexual, sin embargo, la primera es rara debido a la baja frecuencia de la floración (White y Wise, 1998). Ocasionalmente, eventos climáticos extremos, como un inusual incremento de la temperatura durante el verano, puede originar un florecimiento en masa (Bramley, 1996). Cuando esto sucede, el fruto contiene algunas semillas lisas o acanaladas, las cuales son resistentes a una sequía prolongada y germinan rápidamente cuando las condiciones son favorables, sin embargo, esto es muy raro. En consecuencia, la reproducción normalmente es vegetativa, en los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una fronda, lo que favorece un rápido crecimiento de la población (Cole y Voskull, 1996). Bajo condiciones normales de reproducción asexual o crecimiento vegetativo, las frondas madres (F0) producen frondas hijas (F1) por medio de brotación en una región meristémica localizada en una bolsa reproductiva, las cuales también contienen bolsas reproductivas donde nuevos primordios de frondas se desarrollan, originando nuevamente frondas hijas (F2), de esta manera, cada fronda producida repite el proceso, resultando un crecimiento exponencial. Dependiendo del género, las frondas hijas son producidas vegetativamente en pares en dos bolsas meristémicas situadas a los lados de la parte final de la fronda madura (*Lemna*, *Spirodela* y *Landoltia*). En *Wolffia* y *Wolffiella* solo existe una bolsa meristémica (Smart y Fleming, 1993; White y Wise, 1998; Lemon y Posluszny, 2000; Appenroth, 2002). Generalmente, las frondas hijas no se liberan de la fronda madre antes de la madurez. En el género *Wolffia*, la fronda es liberada antes de la madurez, en *Lemna* la liberación es

próxima a la madurez y en *Spirodela* la fronda es retenida hasta pasada la madurez (Lemon *et al.*, 2001), en consecuencia, frondas nuevas permanecen atadas a la fronda madre, por lo que es posible encontrar varias frondas unidas por una estípita fugaz en diversos estados de desarrollo, de esta manera, la fronda madre e hijas juntas forman una familia llamada "colonia", (White y Wise, 1998; Li y Xiong, 2004).

Este tipo de reproducción asexual produce una planta genéticamente idéntica, una fronda puede reproducirse 20 o 50 veces durante su ciclo de vida, que puede prolongarse de 10 días a varias semanas (Skillicorn *et al.*, 1993). Lemon *et al.* (2001) mencionan que el tiempo promedio de vida de las frondas es de 31,3, 15,8 y 12,1 días para *Lemna*, *Wolffia* y *Spirodela*, respectivamente, con una producción de 14,0, 9,8 y 1,1 frondas. Asimismo, observaron una tasa de producción de 0,45, 0,62 y 0,08 frondas por día. En condiciones adversas, en 15 de las 38 especies, el primordio formado dentro de la bolsa meristémica puede seguir un segundo desarrollo especializado, formación de turiones, que se consideran frondas modificadas. Es una estructura anatómicamente distinta e inactiva durante el invierno, de la cual posteriormente una fronda vegetativa surge (Smart y Fleming, 1993), pero que se distinguen de la fronda por su pequeño tamaño, carencia de aerénquima, pared celular más gruesa y la acumulación de almidón y antocianina (Smart y Trewavas, 1983). A diferencia de las frondas, las cuales tienden a permanecer juntas por algún tiempo vía un estolón, los turiones se separan de la fronda madre en cuanto maduran y se hunden. Cada turión también contiene dos bolsas meristémicas de las cuales nuevos primordios de frondas vegetativas pueden desarrollarse por germinación en cuanto las condiciones le sean favorables, sin embargo, son susceptibles a la sequía y a las bajas temperaturas (Smart y Fleming, 1993; Landolt, 1997).

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

CONDICIONES DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD

La temperatura, pH, composición del medio de crecimiento, intensidad de luz y densidad del manto, ejercen significativa influencia sobre el crecimiento (Monette *et al.*, 2006). Los rangos de temperaturas reportados por varios investigadores son muy variables. Van der Heide *et al.* (2006), reportan que la temperatura mínima es de 6,2°C, óptima de 25,7°C y máxima de 36,8°C, y fue letal a los 38°C. Otros autores mencionan que son capaces de crecer en temperatura del agua tan baja como 5 - 7°C y atmosférica de 1 - 3°C, sin embargo, la ideal en el agua es de 17°C, inhibiendo el crecimiento cuando se acerca a los 35°C (Buddhavarapu y Hancock, 1991; Oron *et al.*, 1987; Skillicorn *et al.*, 1993). Las variaciones en las temperaturas óptimas reportadas pueden ser atribuidas a las diferentes condiciones de crecimiento, géneros, regiones, entre otras.

El rango típico de pH para estas plantas es de 4,5 - 7,5; se reporta que para *Wolffia*, *Lemna* y *Spirodela*, el pH mínimo es de 4,5, 4,0 y 3,7 respectivamente y máximo de 10 para las tres especies, el crecimiento es completamente inhibido con un pH mayor a este; y resultan ser más competitivas que las microalgas cuando son cultivadas a un pH entre 4 y 7 (McLay, 1976; Zirschky y Reed, 1988; Morales *et al.*, 2006), aunque el pH óptimo depende de la fuente de nitrógeno (Morales *et al.*, 2006).

Con una concentración de N de 10 - 30 mg l⁻¹, puede obtenerse un contenido de proteína 35 - 40% en *Lemna* spp. (Anh y Preston, 1997). Se ha reportado que la mayor tasa relativa de crecimiento (TRC) se observó a una concentración de amonio de 3,5 - 20 mg l⁻¹, con pH de 7 (Caicedo *et al.*, 2000). Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por otros investigadores (Oron *et al.*, 1987; Vermaat y Hanif, 1998; Shahidur *et al.*, 2001). La intensidad de luz reportada para *L. minor* y *S. punctata* fluctúan entre los 300 - 600 E m⁻² s⁻¹ y 600 - 1200

E m⁻² s⁻¹, respectivamente (Wedge y Burris, 1982; Filbin y Hough, 1985).

Driever *et al.* (2005), mencionan que a bajas densidades de población la TRC se incrementa significativamente, sin embargo, conforme la densidad aumenta la TRC disminuye. Una probable explicación para este efecto, puede deberse al incremento de la temperatura por la radiación solar cuando el manto empieza a cubrir la superficie del espejo de agua, ocasionando que las frondas acumuladas unas sobre otras, limiten la disponibilidad de nutrientes para las capas superiores, y de luz o CO₂ para las inferiores, disminuyendo el crecimiento. Estos mismos autores reportan una TRC máxima de 0,30 g d⁻¹ con una biomasa inicial en base seca de 10 g m⁻².

Espejo-Díaz *et al.* (2006) concluyen que a menor cantidad de material vegetativo el crecimiento es más acelerado y lo atribuyen a que el área del espejo de agua y la cantidad de nutrientes es proporcionalmente mayor, lo cual disminuye la competencia intraespecífica y aumenta la producción de biomasa. Reportan el mayor crecimiento con 280 g m⁻² base húmeda, duplicando su masa en 7 días, que coincide con lo reportado por Anh y Preston (1997), quienes encontraron que la densidad óptima inicial para acelerar el crecimiento es de 200 - 300 g m⁻² base húmeda, con una frecuencia de cosecha de 2 días de intervalo.

Estas plantas han demostrado también cierta habilidad para sobrevivir en áreas altamente salinas aunque la planta no concentra el ión sodio (Leng *et al.*, 1995). Debido a que los miembros de la familia Lemnaceae son pequeñas plantas flotantes, no sobreviven en aguas con movimientos mayores a 0,3 m s⁻¹, por lo que la diseminación es por medio de aves acuáticas e inundaciones (Skillicorn *et al.*, 1993).

Las plantas de esta familia son capaces de asimilar directamente moléculas orgánicas como carbohidratos y varios aminoácidos (Porath y Pollock, 1982; Datko y Mudd, 1985), tomando directamente los nutrientes

del medio vía fronda y raíces. Debido a que las frondas flotan directamente sobre la superficie del agua, la absorción de nutrientes es por la parte inferior de la fronda (Ice y Couch, 1987; Oron, 1994). Por otra parte, Meijer y Sutton (1987) encontraron evidencias de consumo de nutrientes a través de la superficie superior de la fronda, que puede ocurrir cuando por acción de la ola se moja la superficie de la fronda o cuando las plantas son varadas sobre sedimentos húmedos en su posición invertida. El consumo de nutrientes de esta manera, puede ser uno de los mecanismos mediante el cual esta planta puede sobrevivir en periodos de estrés, esperando mejores condiciones para su crecimiento. Algunos investigadores han reportado que el consumo de nutrientes vía raíces es poco o nulo, funcionando como un órgano estabilizador (Muhonen *et al.*, 1983; Leng *et al.*, 1995). Al contrario, Cedergreen y Vindbek (2002) y Ying *et al.* (2007) demostraron que *L. minor* y *L. punctata*, respectivamente, pueden adquirir cantidades significativas de nitrógeno inorgánico a través de la raíz. Los géneros *Wolffia* y *Wolffiella* debido a que no desarrollan raíces, toman todos sus nutrientes para crecer a través de la fronda.

La familia Lemnaceae, tiene una extrema preferencia de consumo por amonio (NH_4^+),

sobre nitrato (NO_3^-), lo cual es importante para la síntesis de aminoácidos y proteínas, asociada con un reducido requerimiento de energía para el proceso (Porath y Pollock, 1982; Oron, 1994), sin embargo, la asimilación de amonio es sensible a la temperatura y ocurre solo en un pH de 6 - 8 (Arce y Caicedo, 2000). La preferencia por el consumo de amonio, que resulta en la conversión directa de nitrógeno a proteína en la planta, es una ruta más eficiente que la asimilación y reducción necesaria para transformar nitrato en proteína al interior de la misma, reduciendo el requerimiento de energía para el proceso de asimilación (Oron, 1994).

Cuando ambas fuentes de nitrógeno están disponibles en el medio, la planta prefiere absorber amonio, pero puede tomar nitrato cuando es la única fuente de nitrógeno (Ying *et al.*, 2007). Ciertos niveles de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) con influencia del pH, pueden inhibir el crecimiento de la planta. En aguas con concentraciones de nitrógeno amoniacal entre 50 y 100 mg l^{-1} , el pH debe estar por debajo de 7; para un crecimiento óptimo en un rango de pH de 5 y 8, las concentraciones de nitrógeno amoniacal deben estar por debajo de 20 mg l^{-1} (Caicedo *et al.*, 2000).

La toxicidad del nitrógeno amoniacal total es el resultado de un efecto de ambas

Tabla II. Consumo de nitrógeno y fósforo por algunas especies de *Lemna* y *Spirodela*. (Intake of nitrogen and phosphorus by some species of *Lemna* and *Spirodela*).

Región	Especie	Remoción diaria ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		Referencia
		N	P	
Louisiana	<i>Lemna spp.</i>	0,47	0,16	Culley <i>et al.</i> (1978)
Italia	<i>L. gibba/minor</i>	0,42	0,01	Corradi <i>et al.</i> (1981)
USA	<i>Lemna spp.</i>	1,67	0,22	Zirschky y Reed (1988)
India	<i>Lemna spp.</i>	0,50 - 0,59	0,14 - 0,30	Tripathi <i>et al.</i> (1991)
Minnesota	<i>Lemna spp.</i>	0,27	0,04	Lemna Corporation
Florida	<i>S. polyrhiza</i>	--	0,015	Sutton y Ornes, (1977)
CSSR	<i>Lemna spp.</i>	0,20	--	Kvet <i>et al.</i> (1979)
Bangladesh	<i>S. polyrhiza</i>	0,26	0,05	Alaerts <i>et al.</i> (1996)
Yemen	<i>Lemna spp.</i>	0,05 - 0,2	0,01-0,05	Al-Nozaily (2001)

Adaptado de Zimmo, (2003).

UTILIZACIÓN DE LALENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

formas ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$). A bajas concentraciones de NH_3 la TRC decrece linealmente con el incremento de las concentraciones de NH_4^+ , hasta un nivel máximo de 8 mg N l^{-1} , cerca del cual la planta muere (Körner *et al.*, 2001).

Las tasas de remoción de nitrógeno (N) y fósforo (P), reportadas por diversos investigadores para algunas especies del género *Lemna* y *Spirodela*, son muy variables (**tabla II**). Cheng *et al.* (2002b), reportaron tasas de remoción de N de $2,11 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y P de $0,59 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, utilizando *L. minor*. Reddy y De Busk (1987) reportan consumo medio anual de N y P de $350 - 1200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $116 - 400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente. Conforme los niveles de estos nutrientes disminuyen, las raíces se alargarán y empezarán a absorber otras sustancias presentes en el medio, posiblemente hasta un punto donde contendrán altos niveles de toxinas y metales pesados (Clark *et al.*, 1981).

La contribución indirecta de esta familia a la remoción de nutrientes, por acción de las bacterias y algas que habitan el manto y ocasionadas por nitrificación-desnitrificación, oscila entre 35 y 46% y 31 y 71% de las pérdidas de N y P, respectivamente. Directamente, la lenteja de agua puede ser responsable de la remoción del 16 - 47% N y de 9 - 61% de P (Alaerts *et al.*, 1996; Körner y Vermaat, 1998). Islam *et al.* (2004) mencionan que puede reducir eficientemente la cantidad de coliformes fecales en aguas negras, y sugieren que la producción que se obtiene de lagunas con este tipo de aguas, puede ser usada con seguridad como alimento para peces, con un riesgo mínimo de patógenos entéricos; sin embargo, este estudio es sólo un paso para la evaluar la seguridad de la utilización de lenteja de agua cultivada en aguas negras como alimento para tilapia.

Estas plantas pueden acumular cadmio, selenio plomo, zinc, níquel, boro, plata, cromo y cobre en cantidades significativas (Glandon y McNabb, 1978; Staves y Knaus,

1985; Srivastav *et al.*, 1994; Wahaab *et al.*, 1995; Zayed *et al.*, 1998; Davis *et al.*, 2001; Oporto *et al.*, 2006). Investigaciones concernientes a la tasa de crecimiento y la capacidad de consumo de nutrientes ha sido fundamental para el desarrollo de esta planta como un proceso viable en el tratamiento de aguas negras.

El amonio es uno de los mayores constituyentes de las aguas negras domésticas, las concentraciones oscilan entre 10 a 50 mg de N amoniacal total l^{-1} , pero puede ser tan alto como 200 mg de N amoniacal total l^{-1} , sobre todo en aguas negras de las industrias (Körner *et al.*, 2003). El consumo de amonio es importante en las aguas negras, debido a que este aumenta la eutrofización y puede resultar en la formación de nitratos, que se filtran a las aguas subterráneas (Oron *et al.*, 1988). Debido a su alto consumo de nutrientes, esta planta es capaz de tolerar los altos niveles de nutrientes comúnmente encontrados en las aguas negras provenientes del uso doméstico y de explotaciones ganaderas. Los mantos formados por esta familia soportan una mezcla de población microbial de cianobacterias diazotróficas y bacterias heterotróficas, las cuales son capaces de fijar N_2 , en condiciones de oscuridad o luz; al menos 15 o 20% del N_2 requerido por las plantas para crecimiento puede ser provisto a través de estas asociaciones (Zuberer, 1982).

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre productividad de esta planta se han realizado en condiciones de laboratorio y los resultados se han extrapolado a producciones por hectárea (**tabla III**). Aunado a esto, los diversos géneros de esta familia que se han utilizado, así como las fuentes de nutrientes, han contribuido a la gran variabilidad de resultados obtenidos en muchos estudios. Sin embargo, las TRC reportadas son altas, 0,10 a $0,35 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, con una producción anual, con dos o tres cosechas por semana, de alrededor de $55 \text{ t de MS ha}^{-1}$ (Oron, 1994). Para hacer un comparativo, Rincón-Carruyo *et al.* (1998) reportaron TRC

Tabla III. Resultados de producción de algunas especies de la familia Lemnaceae en diversas condiciones de crecimiento. (Production results from some Lemnaceae species on diverse growth conditions).

Localización	Producción (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹) ^A	Fuente de nutrientes	Especie	Fuente
Louisiana	46,00	Estiércol de bovino diluido	<i>S. punctata</i>	Mestayer <i>et al.</i> (1984)
Holanda	20,00	Aguas negras domésticas	<i>L. gibba</i>	Körner <i>et al.</i> (2001)
	24,13	Aguas negras domésticas	<i>L. minor</i>	Zirschky y Reed (1988)
Bangladesh	10,10	Efluentes de estiércol de vacas y pollos.	<i>L. minor</i>	Shahidur <i>et al.</i> (2001)
Israel	10,00	No se reporta	<i>L. gibba</i>	Porath <i>et al.</i> (1979)
Vietnam	26,6	Efluentes de biodigestores con estiércol de vaca	<i>Lemna spp.</i>	Anh y Preston (1997)
India	8,40	Aguas residuales	<i>W. arrhiza</i>	Naskar <i>et al.</i> (1986)
Tailandia	20,31	Estanques de tierra con drenaje de letrinas	<i>Lemna spp.</i>	Hassan (1986)
Tailandia	11,20	Fuente de letrinas	<i>L. perpusilla</i>	Edwards <i>et al.</i> (1992)

de 0,06, 0,07 y 0,08 g g⁻¹ d⁻¹ para diversos cultivares de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.).

Reddy y Busk (1985) reportaron una densidad óptima de cultivo de 10 - 88 g m⁻² y 10 - 120 g m⁻², en base seca, para *S. polyrhiza* y *L. minor*, respectivamente, con una producción de materia seca de 11,30 y 16,10 t ha⁻¹ año⁻¹, en el mismo orden. Hassan (1986) reporta una producción de 20,31 y 10,90 t ha⁻¹ año⁻¹ para *Spirodela sp* y *Lemna sp*, respectivamente. Cheng *et al.* (2002a,b), reportan tasas de crecimiento de 29 g m⁻² d⁻¹ y 31,9 g m⁻² d⁻¹ para *L. minor* y *S. punctata*, respectivamente, que aproximadamente corresponde a unas 100 t ha⁻¹ año⁻¹, en base húmeda.

VALORNUTRICIONAL

Las Lemnaceae tienen un alto valor nutricional debido a que la planta entera consiste de tejido no estructural metabólicamente activo (Wolverton y McDonald, 1981). El valor nutricional es también dependiente de la presencia de insectos y bacterias en el manto, pero estos datos no están disponibles en la mayoría de los estudios. Esta situación

podría ser uno de los factores que influyen en los diferentes resultados obtenidos (**tabla IV**). El contenido de proteína es muy variable, pues se reporta desde 13,09 hasta 41,00%. La variación en el contenido de proteína es también atribuible al resultado de la combinación de las concentraciones de amonio, de la materia orgánica, del tiempo de retención y de la tasa de biodegradación del lodo parcialmente sedimentado en el fondo del estanque (Arce y Caicedo, 2000).

Cheng *et al.* (2002a) mencionan que el alto contenido de proteína indica una alta capacidad de asimilación de nitrógeno y es también una característica importante para usos potenciales. Tienen un perfil de aminoácidos mucho mejor que otras proteínas de origen vegetal y es la que más se aproxima al perfil de la proteína animal (Hillman y Culley, 1978) (**tabla V**). Es una excelente fuente de arginina, considerando uno de los principales aminoácidos esenciales para *O. niloticus*.

El contenido de fibra es alrededor de 6,9 y 11,70%, el género *Spirodela* presenta el mayor contenido de fibra, componente que tiene un impacto sobre la digestibilidad y esto podría ser una limitante ante fuentes de

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

proteína convencionales como torta de soja, para la cual Cortés *et al.* (2002) reportan 2,76-4,29%.

Es una excelente fuente de aminoácidos esenciales para *O. niloticus* (tabla VI), excepto en histidina y metionina, razón por la cual su utilización como única fuente de alimentación repercute en el comportamiento productivo. Sin embargo, puede ser una excelente fuente de aminoácidos en dietas integrales, complementado las deficiencias de aminoácidos con otras fuentes de proteínas.

Los factores antinutricionales, definidos como sustancias que por si mismas o a través de sus productos metabólicos interfieren en la utilización del alimento, afectan la salud y la producción en los animales (Francis *et al.*, 2001). Las Lemnaceae no están exentas de estas sustancias. Bairagi *et al.* (2002b) reportan contenido de 1% de taninos y 1,23% de ácido fítico en *Lemna*

polyrhiza fresca, logrando reducir estos valores hasta 0,02 y 0,09%, respectivamente, cuando se sometió a una fermentación con *Bacillus*. Kalita *et al.* (2007) reportan en *L. minor*, 1,47% de inhibidores de tripsina, 3,5% de oxalato de calcio y 0,9% de taninos. En concentrado de proteína de *S. polyrhiza*, Fasakin (1999) reporta cianida (0,15%), taninos (0,48%) y ácido fítico (0,58%). La toxicidad de cada uno de estos factores puede variar y generalmente son desactivados o destruidos mediante tratamiento térmico. Desafortunadamente, existe poca información sobre el efecto de estos en el comportamiento productivo en tilapia, pero una excelente revisión sobre los efectos en peces fue publicado por Francis *et al.* (2001).

EFFECTO NUTRICIONAL EN TILAPIA (*OREOCHROMIS* SPP.)

La familia Lemnaceae se ha investigado como dieta única, parte integral de la misma,

Tabla IV. Composición química de diversas especies de la familia Lemnaceae. (Chemical composition of several species of Lemnaceae Family).

SP	MS	PC	EE	CEN	ELN	FB	EB	Fuente
A	-	28,0	5,0	25,0	32,0	10,0	3,8	Kalita <i>et al.</i> (2007)
A	89,7	33,8	3,2	15,9	-	-	4,3	Schneider <i>et al.</i> (2004)
A	87,3	41,0	4,4	16,2	-	9,4	5,0	El-Shafai <i>et al.</i> (2004a)
B	67,5	18,6	1,5	2,5	-	11,0	2,8	Bairagi <i>et al.</i> (2002)
C	89,0	27,8	1,1	24,2	35,8	11,1	4,8	Gutiérrez <i>et al.</i> (2001)
D	-	20,4	4,6	15,9	-	11,6	-	Chareontesprasit y Jiwyuan (2001)
B	-	25,0	2,9	15,3	45,4	11,4	3,6	Fasakin (1999)
B	90,8	29,8	12,3	10,5	17,5	20,7	-	Fasakin <i>et al.</i> (1999)
B	-	35,8	3,1	17,6	-	11,2	-	Cui <i>et al.</i> (1994)
E	-	25,3	4,5	18,3	-	7,6	-	-
E	-	29,3	4,9	15,4	-	6,9	-	-
B	-	23,8	3,8	16,1	-	11,7	-	-
F	89,9	13,1	2,3	14,1	16,9	-	-	Brown <i>et al.</i> (1990)
C	-	25,2	4,7	13,7	-	9,4	-	Rusoff <i>et al.</i> (1980)
G	-	28,7	5,5	15,2	-	9,2	-	-
B	-	29,1	4,5	17,1	-	8,8	-	-
H	-	36,5	6,6	14,0	-	3,6	-	-

SP: Especie. MS: Materia seca. Como % de la MS: PC: proteína bruta; CEN: cenizas, EE: extracto etéreo; E.L.N: extracto libre de nitrógeno; FB: fibra bruta; EB: energía bruta (Mcal/kg de MS). A: *L. minor*; B: *S. polyrhiza*; C: *L. gibba*; D: *W. arriza*; E: *L. perpusilla*; F: *Lemna* sp; G: *S. punctata*; H: *W. columbiana*.

o como complemento a la dieta, sustituyendo total o parcialmente la harina de pescado o torta de soja, principalmente en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), así como en policultivos.

Esta planta es consumida por una gran variedad de peces. Recientemente Šetlíková y Adámek (2004) determinaron la preferencia de alimentación y crecimiento de juveniles de tilapia nilótica de 9,3, 11,3, 16,9 y 20,9 g de peso, utilizando 4 macrófitas acuáticas, donde *Elodea canadensis*, fue la más preferida, *Potamogeton pectinatus* y *S. polyrhiza* tuvieron igual preferencia y *Myriophyllum spicatum* fue la menos preferida. El consumo máximo aproximado de *S. polyrhiza* fue de 0,5 g de materia seca por cada 100 g de biomasa de peces por día, que corresponde a 2,4% del peso corporal, con una preferencia de consumo de las raíces y las frondas jóvenes. Mencionan que la eficiencia de utilización de las plantas, en general, fue muy pobre y lo atribuyen a que grandes partes de las plantas aparecieron no digeridas

en las excretas. Adang (1980) reporta que la tilapia nilótica consume *Lemna* sp., *Hydrilla* sp. y *Chara* sp., pero prefiere *Lemna* sobre las otras dos.

A) COMO DIETA ÚNICA O COMPLEMENTO A LA MISMA

Hassan y Edwards (1992) investigaron *L. perpusilla* (25,3 0,9% PB y 7,6 0,5% FB) y *S. polyrhiza* (23,8 0,8% PB y 11,7 0,6% FB) en tilapia nilótica con peso inicial promedio de 26,3 g, en tanques de concreto con agua estática, a una tasa de alimentación 2,5%, 5,0% y 7,5% de la biomasa total sobre base seca de las plantas. En los resultados obtenidos encontraron que *L. perpusilla* fue mejor en base a la tasa de crecimiento y eficiencia de utilización que la *S. polyrhiza*, con una ganancia diaria de peso individual de 0,5 g a una tasa de alimentación de 5%. Esto probablemente pueda ser atribuido al mayor tamaño de la fronda y alto contenido de fibra bruta en *S. polyrhiza*. Este nivel de alimentación coincide con lo reportado por

Tabla V. Contenido aminoacídico de algunas especies de la familia Lemnaceae y de fuentes de proteína comúnmente utilizadas en la nutrición acuícola. (% proteína). (Aminoacid content of some species of Lemnaceae Family and other protein sources commonly used in aquaculture nutrition (% proteína)).

	<i>Lemna minor</i> ¹	<i>Lemna gibba</i> ²	<i>Spirodela polyrhiza</i> ³	Harina de pescado		Harina de soja	
				4	5	4	5
Arginina	5,99	5,30	5,29	-	3,57	-	3,25
Histidina	2,23	2,34	2,07	-	2,30	-	2,82
Isoleucina	5,52	4,30	3,82	6,00	2,44	1,50	2,06
Leucina	9,10	8,27	7,11	10,40	4,24	8,20	3,40
Lisina	6,15	5,58	4,82	11,10	4,27	6,80	2,75
Metionina	1,54	1,74	0,89	4,40	1,61	1,50	0,59
Fenilalanina	5,49	5,85	4,09	5,60	4,33	5,60	4,94
Treonina	5,05	4,08	3,81	6,00	2,45	4,30	1,72
Triptofano	1,30	-	3,09	1,40	1,52	1,20	1,64
Valina	6,49	5,90	4,53	4,70	2,82	4,80	2,15

¹Promedio de lo reportado por Muztar *et al.* (1978) y Dewanji (1993); ²Promedio de lo reportado por Rusoff *et al.* (1980) y Porath *et al.* (1979); ³Promedio de lo reportado por Fasakin *et al.* (1999) y Rusoff *et al.* (1980); ⁴Tomado de cálculos realizados por Islam (2002), a partir de los datos de Banerjee (1986); ⁵Tomado de Mariscal *et al.* (1998).

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

Tabla VI. Requerimientos de aminoácidos esenciales (AAE) de *O. niloticus* y niveles en algunas especies de la familia Lemnaceae (% proteína). (Essential amino acid (AAE) requirements of *O. niloticus*, and its levels in some species of Lemnaceae Family (% protein)).

AAE	<i>O. niloticus</i> ¹	<i>Spirodela polyrhiza</i> ²	<i>Spirodela punctata</i> ²	<i>Lemna minor</i> ⁴			<i>Lemna gibba</i> ³		<i>Wolffi columbiana</i> ³	
		2	3	4	5	6	3	6		
Arginina	4,2	5,3	5,3	4,9	5,9	5,9	9,3	4,3	6,3	3,8
Histidina	4,7	1,9	2,2	1,9	1,8	2,7	2,3	1,9	2,8	1,2
Isoleucina	3,1	3,8	3,8	3,8	5,4	5,7	4,2	3,9	4,7	3,0
Leucina	3,4	7,4	6,9	6,9	9,6	9,6	7,8	7,2	9,3	5,8
Lisina	5,1	5,3	4,3	4,3	6,4	5,9	6,9	4,1	7,0	3,4
Metionina	2,7	0,9	0,8	1,1	1,8	1,4	1,6	0,8	2,7	0,9
Fenilalanina	3,8	3,9	4,2	4,4	4,9	6,0	5,0	4,5	7,2	3,6
Treonina	3,8	4,2	3,5	3,3	4,9	5,1	4,8	3,2	4,9	2,6
Triptófano	1,0		3,0					1,3		
Valina	2,8	4,7	4,4	4,7	6,7	6,4	5,6	4,9	6,8	3,5

¹Santiago y Lovell (1988); ²Fasakin *et al.* (1999); ³Rusoff *et al.* (1980); ⁴Muztar *et al.* (1978); ⁵Dewanji (1993); ⁶Porath *et al.* (1979).

Edwards *et al.* (1984), que encontraron un óptimo de 5% pero con *S. polyrhiza* para tilapia nilótica de 19-40 g. Hassan y Edwards (1992) posteriormente, determinaron que la tasa óptima de alimentación con *L. perpusilla* fue de 5, 4 y 3% de la biomasa total sobre base seca de la planta, para peces de 25-44, 45-74 y 75-105 g de peso, respectivamente, con una ganancia diaria de peso individual de 0,7, 1,0, 1,0 g, respectivamente. La disminución en la tasa de alimentación conforme se incrementa el peso de los peces, lo atribuyen a que la cantidad absoluta de alimento requerido se incrementa con el tamaño del pez aunque la cantidad como porcentaje de peso corporal disminuye, estos autores reportan que a una tasa de alimentación de 6%, la tasa de sobrevivencia fue de 17 3%. Sin embargo, Santos (1987), reporta que un nivel de alimentación de 6% (base seca) de la biomasa de juveniles de tilapia nilótica, alimentados con *L. perpusilla*, fue significativamente más alto que una dieta control utilizando alimento comercial a un nivel de 5%, pero en un sistema de recirculación de agua. Menciona que a un nivel de 6% en

este sistema se obtuvieron mejores ganancias de peso que en los estanques de concreto con agua estática, atribuyendo esto a la baja calidad del agua, particularmente deficiencia de oxígeno debido a la descomposición de la lenteja de agua no consumida, donde también se puede considerar la presencia de exceso de amoníaco. Con respecto a esto, El-Shafai *et al.* (2004b) determinaron que para cultivar tilapia nilótica alimentadas con *L. gibba*, debe mantenerse una concentración inferior a 0,1 mg l⁻¹ de nitrógeno amoniacal no ionizado. La mayor ganancia de peso la obtuvieron entre 0,004 y 0,068 mg l⁻¹ de amoníaco, con niveles mayores a 0,1 mg l⁻¹ la ganancia de peso disminuyó al igual que la tasa de crecimiento relativa. Por otra parte, Chowdhury *et al.* (2008) durante 90 días suplementaron con *L. minor*, crías de tilapia nilótica de 30 g de peso a una densidad de 80 peces por 40 m², con una tasa alimenticia de 60% del peso total del pez, calculada en base húmeda. Reportan una producción neta de 4,070 t ha⁻¹ año⁻¹ (p<0,05) sobre 2,230 t ha⁻¹ año⁻¹ (suplemento vs no suplemento), tasa de

sobrevivencia de 94,37 vs 93,75%, y tasa de crecimiento específica (TCE) de 1,16 y 0,80, respectivamente.

Resultados similares a los reportado por Santos (1987), obtuvo Castanares (1990), que encontró un consumo de materia seca (CMS) de *L. perpusilla* (% peso corporal d⁻¹) de 6,63% y una tasa de conversión alimenticia (TCA) de 2,23 en un sistema de recirculación de agua en tilapia nilótica de aproximadamente 23,5 g de peso, a una densidad de 5,6 peces m³. Reportó ganancia diaria de peso (GDP) de 1,76 g pez⁻¹ y en sistema de agua estática obtuvo una GDP de 0,90 pez d⁻¹ y un CMS de 3,70 (% peso corporal d⁻¹) con TCA de 1,99. En sistema de recirculación de agua, con juveniles de tilapia (*O. niloticus* x *O. aureus*) a densidad de 49,47,45 peces m⁻², y peso de 134,5, 127,0 y 112,9 g, respectivamente, Gaigher *et al.*

(1984) evaluaron *L. gibba* (31,5 5,8% PB). Reportan una GDP aproximada de 1 g pez⁻¹; tasa relativa de crecimiento (TRC) de 0,67 y producción de 42 g m⁻² d⁻¹; el CMS fluctuó entre 0,35% y 0,93% del peso corporal, valores muy inferiores a lo reportado por Castanares (1990). Cuando proporcionaron alimento comercial (25% PB) mas *L. gibba* en una proporción de 1,7% peso vivo d⁻¹; el consumo de lenteja de agua disminuyó en un 50%, con un incremento en la GDP de 2,7 g pez⁻¹ d⁻¹, TRC de 1,46 y producción de 126 g m⁻² d⁻¹. Concluyen que el costo de alimento comercial utilizado en sistemas intensivos, puede reducirse hasta en un 50%, complementado con lenteja de agua, pero la viabilidad económica depende de los costos de producción de la misma. Recientemente, Tavares *et al.* (2008) con crías de tilapia nilótica alimentadas con a) 50% de alimento

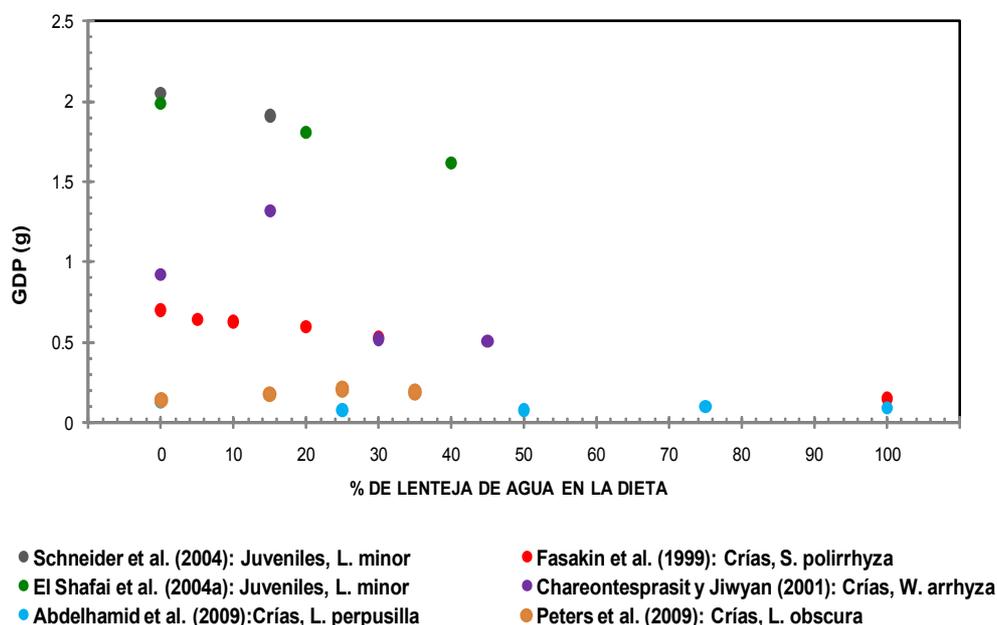


Figura 1. Ganancia diaria de peso (GDP) de crías y juveniles de tilapias alimentadas con dietas integrales, con diferentes niveles de harina de lenteja de agua. (Daily weight gain of tilapia hatchlings and juveniles fed with integral diets, including different levels of duckweed meal).

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

comercial y 50% de lenteja de agua seca (AC+LA), b) alimento comercial (AC), c) lenteja de agua seca (LAS), a una tasa de 5-10% del peso corporal, no encontraron diferencia ($p>0,05$) en la dieta AC+LA (19,6 g) y AC (21.6 g), y promovieron una mayor ganancia de peso que la dieta con LAS (14,4 g) ($p<0,05$) y mencionan que la alimentación de tilapia en una proporción de 1: 1 de lenteja de agua seca y alimento comercial, puede reducir los costos de alimentación, sin embargo, la factibilidad económica depende de los costos de producción de la lenteja de agua que puede variar de acuerdo a los recursos disponibles en cada granja. En crías de tilapa roja (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) con un peso inicial de 23 g, a una tasa de alimentación de 5-10% de peso corporal con: a) *L. valdiviana* seca y b) alimento comercial, Tavares *et al.* (2010) reportaron diferencia ($p<0,05$) entre tratamientos, encontraron una ganancia de peso final de 52,5 y 87,5 g, TCA de 4,3 y 2,6, TCE 1,17 y 2,24 para las dietas a y b, respectivamente.

Adang (1980), reporta GDP de 0,49 - 1,09 $g\ d^{-1}$ para tilapia nilótica cultivada en jaulas y 0,29 - 0,35 $g\ d^{-1}$ en estanques, alimentadas con *Lemna* sp. obteniendo mejor tasa de crecimiento y un contenido de proteína en la carne de 14,29%, contra 13,64% y 12,19% para *Chara* sp. e *Hydrilla* sp. Hassan y Edwards (1992), reportan contenido de 10,3 - 13,9%. Gaigher *et al.* (1984) encontraron 86% de asimilación de la proteína en tilapia nilótica alimentada con *L. gibba* (31,55,8% PB) y 85% con alimento comercial (25% PB), lo que indica de 30% por harina de pescado, es la dieta que presentó mejor rentabilidad, en términos de costos por unidad de ganancia de peso, y sugieren que esto puede ser ocasionado por un mejor balance de aminoácidos, lo que podría mejorar la rentabilidad del cultivo. Sin embargo, fue menor que la dieta testigo ($p<0,05$), que puede atribuirse a la deficiencia de histidina y metionina en la dieta con harina de lenteja de agua (HLA); no reportan diferencia respecto a la TCE ($p>0,05$). Este nivel de inclu-

sión, pero con *L. valdiviana*, coincide con lo obtenido por Mohedano *et al.* (2005), quienes alimentaron crías de nilótica durante 60 días. Posteriormente, Fasakin *et al.* (2001) no encontraron diferencia ($p>0,05$) en la respuesta de crecimiento con una inclusión de 10% de *S. polyrhiza* y la dieta control, aunque se presentó una disminución significativa en el crecimiento de las crías conforme se incrementó en nivel de HLA, la mejor dieta en términos de costo-eficiencia se obtuvo con una inclusión de 30%, e indican que es posible sustituir un 10% de la harina de pescado o torta de soja por HLA, sin afectar el crecimiento, asimismo, mencionan que una inclusión mayor o la sustitución total de la harina de pescado o torta de soja por *S. polyrhiza* reduce la tasa de crecimiento y no es recomendable su utilización en dietas para tilapias (figuras 1 y 2). Chareontesprasit y Jiwyang (2001) sustituyeron 15, 30 y 45% de torta de soja por harina de *W. arrhiza*, con una inclusión de 15%, se obtuvo la mayor producción total, pero la mayor TCE se presentó con 45% de harina de lenteja de agua en la dieta, que sugiere un mejor balance de aminoácidos, debido al mejor perfil de éstos en la HLA (tabla V). Es posible que la mayor producción total obtenida con 15%, se derive de la mayor tasa de sobrevivencia (72,5% vs 27,5%) con 45% de inclusión. Por otro lado, Peters *et al.* (2009), incluyeron 15, 25 y 35% de harina de *L. obscura* en la dieta, sustituyendo 2% de la harina de pescado, y parte de la harina de maíz y trigo, sin afectar el contenido de harina de carne ni de torta de soja, las mayores ganancias de peso se obtuvieron con 25 y 35% de HLA ($p<0,5$), al igual que la TCE, con respecto a la dieta testigo y concentrado comercial; esto podría explicarse por el incremento de aminoácidos esenciales en la dieta aportados por la HLA en sustitución de la proteína de la harina de maíz y trigo, más que por la sustitución de 2% de harina de pescado. Con una sustitución de 25, 50, 75 y 100% de harina de pescado por HLA en la dieta, Abdelhamid *et*

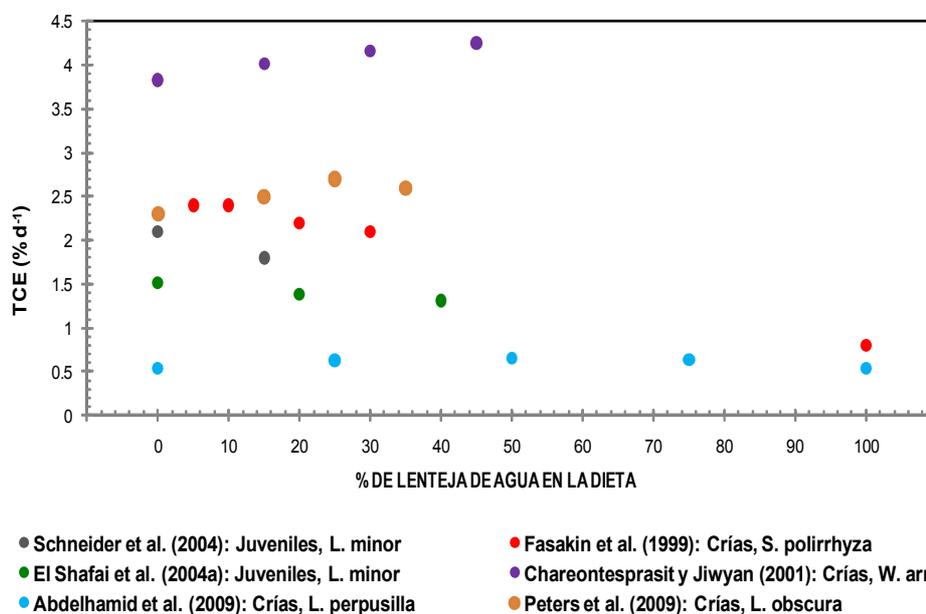


Figura 2. Tasa de crecimiento específico (TCE) de crías y juveniles de tilapias alimentadas con dietas integrales, que incluyen diferentes niveles de harina de lenteja de agua. (Specific growth rate (TCE) of tilapia hatchlings and juveniles fed with integral diets, including different levels of duckweed meal).

al. (2009) reportaron diferencia en las GDP y TRC entre la dieta testigo y las experimentales ($p < 0,5$); aunque las TCE no presentaron diferencias ($p > 0,5$) el mayor valor se obtuvo con 50% de HLA en la dieta.

En juveniles de tilapia nilótica, Schneider *et al.* (2004) reportan una GDP de 1,91 g, (60 g de peso inicial, aproximadamente), alimentadas con *L. minor*, a un nivel de inclusión de 15% en la dieta; resultados similares obtuvieron El-Shafai *et al.* (2004b), que incluyeron 20 y 40% de *L. minor*, en forma deshidratada y fresca, en dietas para tilapia nilótica de 90 g de peso aproximadamente durante 46 días. La mejor ganancia de peso ($1,85 \text{ g pez}^{-1} \text{ d}^{-1}$) se obtuvo a un nivel de inclusión de 20% de *Lemna* fresca, no existiendo diferencia con la dieta control en cuanto a la TCE y FCA (**figura 3**). Con la inclusión de 20% de *Lemna* como parte

integral de la dieta (peletizada), se obtuvo una GDP de $1,81 \text{ g pez}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y aunque la digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS) y proteína (DAPB) fue mayor en la *Lemna* seca que fresca, ($51,83 \pm 4,4$ y $78,4 \pm 2,2\%$ vs $44,7 \pm 0,2\%$ y $77,6 \pm 1,5\%$, respectivamente), la relación de eficiencia de proteína (PER), fue mejor en las dietas con *Lemna* fresca ($2,78 \pm 0,05$ vs $2,86 \pm 0,05$), lo que se refleja en el mayor contenido de proteína corporal, ($51,8 \pm 1\%$ vs $52,4 \pm 0,4\%$). La DAMS y DAPB en las dietas, disminuyeron conforme se incrementó el nivel de *Lemna* (40%), con una inclusión de 20%, se reporta para MS y PB valores de $77,3 \pm 0,2\%$ y $91,2 \pm 0,5\%$, respectivamente, para dietas con *Lemna* seca y de ($76,4 \pm 0,8$ y 92%) para dietas con *Lemna* fresca. Resultados similares reportan Schneider *et al.* (2004), que reemplazaron 15% de harina de pescado por

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

L. minor, y la DAMS y DAPB encontradas fueron 77,6 y 88,9%, respectivamente (**figura 4**).

Santos (1987) reporta una digestibilidad aparente de la proteína (DAPB) de 87,2 - 90,9%, lo que indica que *L. perpusilla* fue efectivamente digerida por la tilapia nilótica (23,5 g), resultados similares a lo encontrado por Castanares (1990), que reportó, también para *L. perpusilla*, en tilapia nilótica una DAPB y DAMS de 96,18 y 60,08%, respectivamente. Chareontesprasit y Jiwyuan (2001) no encontraron diferencias en cuanto a la DAMS y DAPB en tilapia nilótica alimentada con *W. arrhiza*, tanto en crías y adultos, reportan 58-58,5% para materia seca y 68,6 - 69,4% para proteína. El rango de valores reportados para la DAPB, 87,2 - 96,18%, excepto para *W. arrhiza*, es comparable con lo reportado por algunos autores para torta de soja, 80 - 94,8%, (Reigh *et al.*,

1990; Sullivan y Reigh, 1995; Pezzato *et al.*, 2002). Sin embargo, los valores de la DAMS (58 - 60,08%) son inferiores a los reportado para torta de soja, 65,49 - 71,04% (Pezzato *et al.*, 2002; Boscolo *et al.*, 2002).

C) EN POLICULTIVOS COMO DIETA ÚNICA

Kabir *et al.* (2009) utilizaron crías de carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), tilapia (*O. niloticus*), thai sharpoti (*Barbodes gonionotus*), mrigel (*Cirrhinus cirrhosus*) y carpa común (*Cyprinus carpio var communis*) en una relación de 20: 20: 20: 10: 10 (80 peces 40 m⁻²), respectivamente, con un peso promedio inicial de 10,10 g. El experimento tuvo una duración de 90 días, donde se alimentó con a) plancton y b) plancton mas lenteja de agua (20% del peso total del pez), reportaron que la suplementación con lenteja de agua incrementó la producción en un 31% (p<0,05), 1480,8 y 1942,8 kg ha⁻¹,

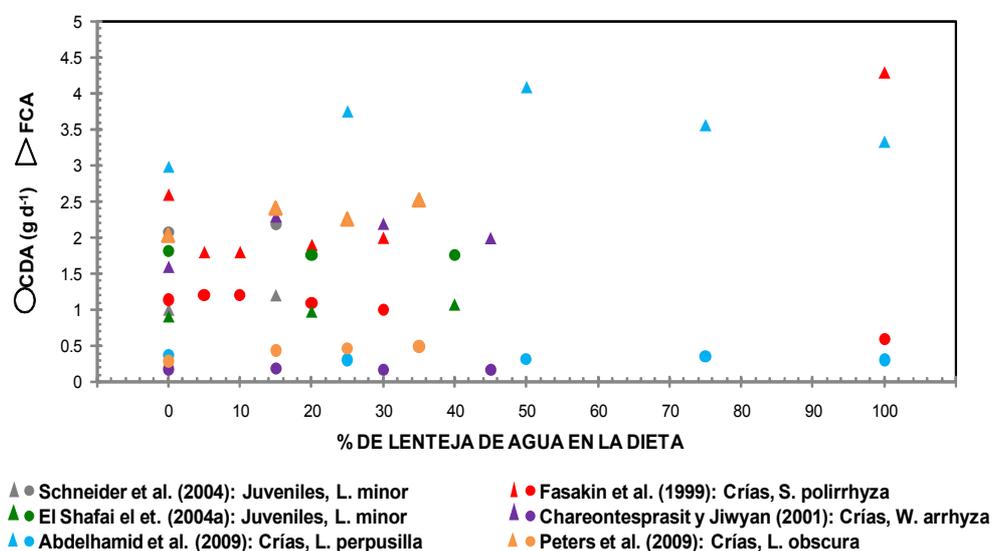


Figura 3. Consumo diario de alimento (CDA) y factor de conversión alimenticia (FCA) en crías y juveniles de tilapia en dietas con diversos niveles de lentejas de agua. (Daily food intake (CDA) and food conversion rate (FCA) of tilapia hatchlings and juveniles fed with integral diets, including different levels of duckweed meal).

respectivamente. Las tilapias presentaron un porcentaje de incremento de peso de 87,85%. Concluyen que la lenteja de agua puede ser utilizada como alimento suplementario en sistemas de policultivo. Por otra parte, Thy *et al.* (2008) evaluaron un policultivo con 40% tilapia nilótica, 35% carpa común y 25% mrigal (*Cirrhinus mrigala*), a una densidad de 30 peces 10 m⁻² y tasa de alimentación de 3-5% del peso total del pez, con espinaca de agua y lenteja de agua, reportan una producción de 1,450, 2,470 y 3,120 kg ha⁻¹ en 4 meses (p<0,01), para suplemento con efluente de biodigestor, efluente más espinaca de agua y efluente más lenteja de agua, respectivamente. Mencionan que la espinaca de agua y la lenteja de agua pueden ser utilizadas como suplementos en policultivos, aunque las mejores ganancias fueron con lenteja de agua. Shrestha y Bhujel (1999) con crías de tilapia nilótica de 39,6 g y carpa común de 2,8 g de

peso, a una densidad de 0,5 pez m⁻², las cuáles fueron alimentadas con lenteja de agua (*Spirodela sp.*) *ad libitum*; obtuvieron una GDP para nilótica y carpa común de 1 y 0,6 g, respectivamente, con una producción de 0,69 g m⁻² d⁻¹ (2,5 t ha⁻¹ año⁻¹).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Son varios los factores que limitan la utilización de la lenteja de agua en como única fuente de alimento, por ejemplo, la deficiencia de histidina y metionina, presencia de factores antinutricionales, alto contenido de humedad y las bolsas de aire contenidas en la fronda, que limitan el consumo de materia seca, por lo que no es recomendable la utilización como dieta única. Sin embargo, cuando es utilizada como tal, la tasa de alimentación apropiada no debe exceder el 6% del peso corporal (base seca), obteniéndose mejores resultados cuando se utiliza los géneros *Lemna spp.* o

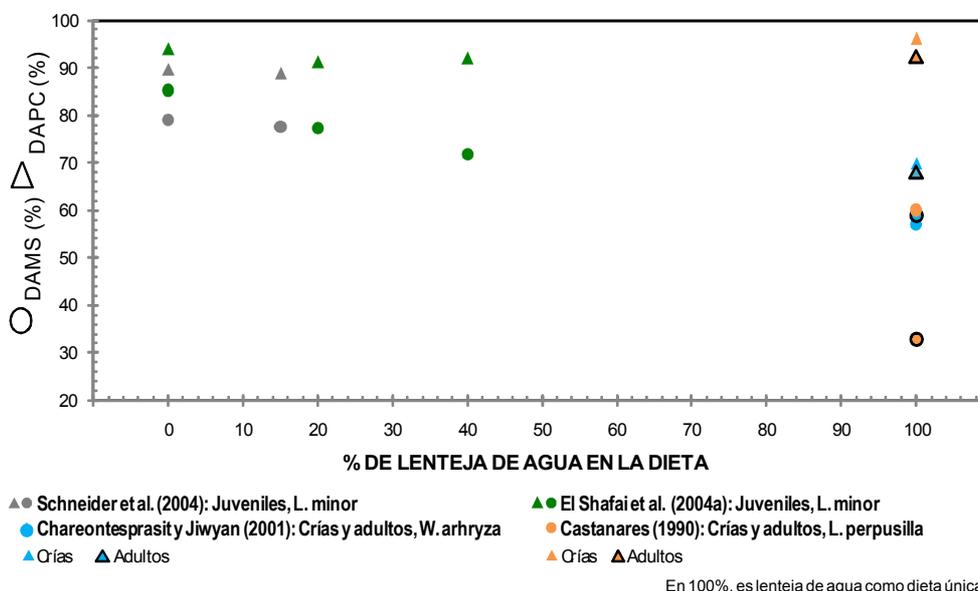


Figura 4. Digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS) y proteína bruta (DAPC) de algunas especies de la familia Lemnaceae (en dietas integrales y como alimento único). (Dry matter (DAMS) and crude protein (DAPC) apparent digestibility of some species of Lemnaceae Family).

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

Wolffia spp. debido al menor contenido de fibra que *Spirodela*. La utilización en policultivos en sistemas extensivos, es una opción viable para complementar la dieta con plancton, aportando proteína de excelente calidad, incrementando la producción alrededor de 30%. Investigaciones concernientes a la utilización como parte integral de la dieta, a niveles de 5-30%, sustituyendo parcialmente a la torta de soja u otra fuente de proteína vegetal, han demostrado mejores resultados, como consecuencia del aporte aminoacídico a la dieta, principalmente en crías y juveniles de tilapia. Inclusión mayor a lo indicado, o la sustitución total de fuentes de proteína animal, provoca una disminución en la digestibilidad aparente de la

materia seca y proteína bruta, que ocasiona efecto negativo en el comportamiento productivo de la tilapia. La disponibilidad y acceso a la tecnología para la fabricación de alimento balanceado en pequeños acuicultores y agroacuicultores es una de las limitantes para considerar la lenteja de agua en dietas integrales comerciales (peletizados y extruidos). Una alternativa es la utilización como complemento a dietas comerciales, que de acuerdo algunas experiencias, puede reducir hasta en 50% los costos por alimentación, sin embargo, datos sobre niveles de suplementación son escasos, y la factibilidad económica esta en función del costo de producción de la lenteja de agua en las unidades productivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelghany, A.E. 2003. Partial and complete replacement of fishmeal with gambusia meal in diets of red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O.mossambicus*). *Aquac. Nutr.*, 9: 145-151.
- Abdelhamid, M.A., Maghraby, N.A., Mehri, A.I.M., Soliman, A.A.A. and Ali, H.M. 2009. Evaluation of some non conventional diets for Nile tilapia fish. I. Concerning dietary composition, water quality, growth performance and nutrients utilization of fish. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 34: 10977-10990.
- Adang, R.S. 1980. Control of reproduction of tilapia Nilotica using cage cultura. *Aquaculture*, 20: 1977-1985.
- Agbede, S.A. and Falaye, A.E. 1997. Nutritive value of three aquatic weeds as a diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Trop. Res.*, 14: 19-23.
- Alaerts, G.J., Mahbubar, M.D.R. and Kelderman, P. 1996. Performance analysis of a full-scale duckweed covered lagoon. *Water Res.*, 30: 843-852.
- Al-Nozaily, F. 2001. Performance and process analysis of duckweed-covered sewage lagoons for high strength sewage. The case of Sana'a Yemen. Ph.D. Thesis. IHE. The Netherlands.
- Anh, N.D. and Preston, T.R. 1997. Effect of management practices and fertilization with biodigester effluent on biomass yield and composition of duckweed. *Liv. Res. Rural Dev.*, 9, January. (Online edition).
- Appenroth, K.J. 2002. Co-action of temperature and phosphate in inducing turion formation in *Spirodela polyrhiza* (Great duckweed). *Plan Cell. Environ.*, 25: 1079-1085.
- Arce, G.O. y Caicedo, J.R. 2000. Efectos del amonio y del pH sobre el crecimiento de la *Spirodela polyrhiza* cultivado en efluentes de reactor UASB. *Rev. Bol. Ecol.*, 8: 17-23.
- Azim, M.E. and Wahab, M.A. 2003. Development of a duckweed feed-carp polyculture system in Bangladesh. *Aquaculture*, 218: 425-438.
- Bairagi, A, Ghosh, K.S., Sen, S.K. and Ray, A.K. 2002. Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Biores. Technol.*, 85: 17-24.
- Bairagi, A, Ghosh, K.S., Sen, S.K. and Ray, A.K. 2004. Evaluation of the nutritive value of *Leucaena leucocephala* leaf meal, inoculated with fish intestinal bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus circulans* in formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Aquacult. Res.*, 35: 436-446.

ZETINA CORDOBA ET AL.

- Banerjee, G.C. 1986. Poultry. 2nd Ed. Mohan Pramlani for Oxford and IBH Publishing Co. Delhi.
- Bonono, L., Pastorelli, G. and Zambon, N. 1997. Advances and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems. *Water Sci. Tech.*, 35: 239-246.
- Boscolo, W.R, Hayashi, C. e Meurer, F. 2002. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Rev. Bras. Zootec.*, 31: 539-545.
- Bramley, J. 1996. Flowering in British *Lemna*: A rare, cyclic or simply overlooked phenomenon?. *Freshwater Forum*, 7: 2-6.
- Brown, P.B, Tazik, P., Hooe, M.L. and Blyte, W.G. 1990. Consumption and apparent dry matter digestibility of aquatic macrophytes by male and female crayfish (*Orconectes virilis*). *Aquaculture*, 89: 55-64.
- Buddhavarapu, L.R. and Hancock, S.J. 1991. Advanced treatment for lagoons using duckweed. *Water Environ. Technol.*, 3: 41-44.
- Buddington, R.K. 1979. Digestion of an aquatic macrophyte by *Tilapia zillii* (Gervais). *J. Fish Biol.*, 15: 449-455.
- Burel, C., Boujard, T., Corraze, G., Kaushik, S.J., Boeuf, G., Mol, K.A., Geyten, S.V.D. and Kühn, E.R. 1998. Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effect on thyroid status. *Aquaculture*, 163: 325-345.
- Caicedo, J.R, Steen, N.P. van der, Arce, O. and Gijzen, H.J. 2000. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrhiza*). *Water Res.*, 34: 3829-3835.
- Cassani, J.R and Caton, W.E. 1983 Feeding behaviour of yearling and older hybrid grass carp. *J. Fish Biol.*, 22: 35-41.
- Castanares, G.M.A. 1990. A comparison of the nutritive value of *Azolla* (*Azolla pinnata* var. *imbricata*) and duckweed (*Lemna perpusilla*) for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). M.Sc. Thesis. AIT Thesis No. AE-90-34. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.
- Cedergreen, N. and Vindbek, M.T. 2002. Nitrogen uptake by floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytol.*, 155: 285-292.
- Chareontesprasit, N. and Jiwyang, W. 2001. An evaluation wolffia meal (*Wolffia arrhiza*) in replacing soybean meal in some formulated rations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Pak. J. Biol. Sci.*, 4: 618-620.
- Cheng, J., Bergmann, B.A., Classen, J.J., Stomp, A.M. and Howard, J.W. 2002a. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata*. *Biores. Technol.*, 81: 81-85.
- Cheng, J., Landesman, L., Bergmann, B.A., Classen, J.J., Howard, J.W. and Yamamoto, Y.T. 2002b. Nutrient removal from swine lagoon liquid by *Lemna minor* 8627. *Trans. ASAE.*, 45: 1003-1010.
- Chien, Y.H. and Chiu, H. 2003. Replacement of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) meal by lupin (*Lupinus angustifolius*) seed meal in diet for juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) reared indoors. *Aquacult. Res.*, 34: 1261-1268.
- Chowdhury, M.M.R., Shahjahan, M., Rhaman, M.S. and Islam, S. 2008. Duckweed (*Lemna minor*) as supplementary feed in monoculture of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *J. Fish. Aqua. Sci.*, 3: 54-59.
- Clark, J.R., VanHassel, J.H., Nicholson, R.B., Cherry, D.S. and Cairns, Jr, J. 1981. Accumulation and depuration of metals by duckweed (*Lemna perpusilla*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 5: 87-96.
- Cole, T.C. and Voskull, M.I. 1996. Population genetic structure in duckweed (*Lemna minor*, Lemnaceae). *Can. J. Bot.*, 74: 222-230.
- Corradi, M., Copelli, M. e Ghetti, P.F. 1981. Olture di *Lemna* su scarichi zootecnici. *Inquinamento*, 23: 49-45.
- Cortés, C.A., Celis, G. A., Ávila, G.E. y Morales, B.E. 2002. Valor nutricional de cuatro pastas de soya procesadas en diferentes estados de la República Mexicana. *Vet. Mex.*, 33: 209-217.
- Crawford, D.J. and Landolt, E. 1995. Allozyme divergence among species of *Wolffia* (Lemnaceae). *Plant Syst. Evol.*, 197: 59-69.
- Cui, Y., Chen, S. and Wang, S. 1994. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. *Aquaculture*, 123: 95-107.
- Culley D.D, Gholson, J.H., Chisholm, T.S., Standifer, L.C. and Epps, E.A. 1978. Water quality renovation of animal waste lagoons utilising aquatic plants. U.S. EPA. Ada. Oklahoma. pp. 166.
- Datko, H.A. and Mudd, S.H. 1985. Uptake of amino

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

- acids and other organic compounds by *Lemna paucicostata* Hegelm. 6746. *Plant Physiol.*, 77: 770-778.
- Davis, A.P., Shokouhian, M. and Ni, S. 2001. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, 44: 997-1009.
- Dewanji, A. 1993. Aminoacid composition of leaf proteins extracted some aquatic weeds. *J. Agric. Food Chem.*, 41: 1232-1236.
- Driever, M.S., Van Nes, H.E. and Roijackers, R.M.M. 2005. Growth limitation of *Lemna minor* due to high plant density. *Aquat. Bot.*, 81: 245-251.
- Edwards, P., Pacharaprakiti, C., Kaewpaitoon, K., Rajput, V.S., Ruamthaveesub, P., Suthirawut, S., Yomjinda, M. and Chao, C.H. 1984. Re-use of cesspool and cellulose agricultural residues for fish culture. AIT Research Report No. 166. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand. 338 pp.
- Edwards, P., Hassan, M.S., Chao, C.H. and Pacharaprakiti, C. 1992. Cultivation of duckweeds in septage-loaded earthen ponds. *Biores. Technol.* 40: 109-117.
- El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. and Gijzen, H.J. 2004a. Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquacult. Res.*, 35: 574-586.
- El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Fayza, A.N., van der Steen, N.P. and Gijzen, H.J. 2004b. Chronic ammonia toxicity to duckweed-feed tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 232: 117-127.
- Espejo-Díaz, A., Sánchez, R., Gonzáles, R., Silva, A., Vargas, A., Merchán, P. y Nouel, G. 2006. Producción de biomasa de la lenteja de agua (*Lemna minor*), fertilizada con estiércol de ovino. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 14: 84-85.
- Fasakin, E.A. 1999. Nutrient quality of leaf protein concentrates produced from water fern (*Azolla africana* Desv) and duckweed (*Spirodela polyrhiza* L. Schleiden). *Biores. Technol.*, 69: 185-187.
- Fasakin, E.A., Balogun, A.M. and Fasuru, B.E. 1999. Use of duckweed, *Spirodela polyrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquacult. Res.*, 30: 313-318.
- Fasakin, E.A., Balogun, A.M. and Fagberno, O.A. 2001. Evaluation of sun-dried water fern, *Azolla africana*, and duckweed, *Spirodela polyrhiza* in practical diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fingerlings. *J. Appl. Aquaculture*, 118: 1045-4438.
- Filbin, J.G. and Hough, R.A. 1985. Photosynthesis, photorespiration, and productivity in *Lemna minor* L. *Limnol. Oceanogr.*, 30: 322-334.
- Francis, G., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199: 197-227.
- Gaigher, I.G., Porath, D. and Granoth, G. 1984. Evaluation of duckweed (*Lemna gibba*) as feed for tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) in a recirculating unit. *Aquaculture*, 41: 235-344.
- Glandon, R.P. and McNabb, C.D. 1978. The uptake of boron by *Lemna minor*. *Aquat. Bot.*, 4: 53-64.
- Gutiérrez, K., Sanginés, L., Pérez, F. y Martínez, L. 2001. Estudios de la planta acuática *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35: 367-372.
- Hardy, R. 2006. Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D.A., Puello-Cruz, A.C., García-Ortega, A. (Eds.), Avances en nutrición acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey. Nuevo León, México.
- Hassan, M.S. 1986. Cultivation of duckweed *Lemna* and *Spirodela* as feed for Nile tilapia. M.Sc. Thesis. AIT Thesis No. AE-86-28. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.
- Hassan M.S. and Edwards, P. 1992. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrhiza*) as feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 104: 315-326.
- Hillman, S.W. and Culley, D.D. 1978. The uses of duckweed. *American Scientist*, 66: 442-451.
- Hossain, M.A., Focken, U. and Becker, K. 2003. Antinutritive effects of galactomannan rich endosperm of sesbania (*Sesbania aculeate*) seeds on growth and feed utilization in tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Res.*, 43: 1171-1179.
- Ice, J. and Couch, R. 1987. Nutrient absorption by duckweed. *J. Aquat. Plant Manage.*, 25: 30-31.

ZETINA CORDOBA ET AL.

- Islam, K.M.S. 2002. Feasibility of duckweed as poultry feed - A review. *Indian J. Anim. Sci.*, 72: 486-491.
- Islam, M.S., Kabir, M.S. Khan, S.I., Ekramullah, M., Nair, G.B., Sack, R.B. and Sack, D.A. 2004. Wastewater-grown duckweed may be safely used as a fish feed. *Can. J. Microbiol.*, 50: 51-56.
- Kabir A.N.M.A., Hossain, M.A. and Rahman, M.S. 2009. Use of duckweed as feed for fishes in polyculture. *J. Agric. Rural Dev.*, 7: 157-160.
- Kalita, P., Mukhopadhyay, P.K. and Mukherjee, A.K. 2007. Evaluation of the nutritional quality of four unexplored aquatic weeds from northeast India for formulation of cost-effective fish feeds. *Food Chem.*, 103: 204-209.
- Keke, I.R., Ofojekwu, C.P., Ufodike, E.B. and Aasala, G.N. 1994. The effects of partial substitution of groundnut cake by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on growth and food utilization in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Acta Hydrobiol.*, 36: 235-244.
- Körner, S. and Vermaat, J.E. 1998. The relative importance of *Lemna gibba* L; bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic waste water. *Water Res.*, 32: 3651-3661.
- Körner, S., Das, S.K., Veenstra, S. and Vermaat, J.E. 2001. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. *Aquat. Bot.*, 71: 71-78.
- Körner, S. Vermaat, J.E. and Veenstra, S. 2003. The capacity of duckweed to treat wastewater: Ecological considerations for a sound desing. *J. Environ. Qual.*, 32: 1583-1590.
- Kvet, J., Rejmankova, E. and Rejmanek, M. 1979. High aquatic plants and biological waste water treatment. The outline of possibilities (In Czech). Proceedings of the Aktiv Jihoceskyh Vodohospodaru Conference. pp 9.
- Landolt, E. 1997. How do Lemnaceae (duckweed family) survive dry conditions?. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH.* 63: 25-31.
- Lemon, G.D. and Posluszny, U. 2000. Comparative shoot development and evolution in the Lemnaceae. *Int. J. Plant Sci.*, 161: 733-748.
- Lemon, D.G. U. Posluszny, U. and Husband, B.C. 2001. Potential and realized rates of vegetative reproduction in *Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* and *Wolffia bordalis*. *Aquat. Bot.*, 70: 79-87.
- Leng, R.A, Stambolie, J.H. and Bell, R. 1995. Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Liv. Res. Rural Dev.*, 7: 1-11.
- Leonard, V., Breyne, C., Micha, C.J.C. and Larondelle, Y. 1998. Digestibility and transit time of *Azolla filiculoides* Lamarck in *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquacult. Res.*, 29: 159-165.
- Les, H.D. and Crawford, J.D. 1999. *Landoltia* (Lemnaceae), a new genus of duckweeds. *Novon.*, 9: 530-533.
- Les, H.D, Crawford, J.D., Landolt, E., Gabel, D.J. and Kimball, T.R. 2002. Phylogeny and systematic of Lemnaceae, the duckweed Family. *Syst. Bot.*, 27: 221-240.
- Li, T. and Xiong, Z. 2004. A novel response of wild-tipe duckweed (*Lemna paucicostata* Helgelm.) to heavy metals. *Environ. Toxicol.*, 19: 95-102.
- Mariscal, G., Ávila, E., Tejada, I., Cuarón, J. y Vázquez, C. 1998. Tabla de contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para cerdos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica. Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP. México.
- McLay, C.L. 1976. The effect of pH on the population growth of three species of duckweed: *Spirodela oligorhiza*, *Lemna minor* and *Wolffia arhyza*. *Freshwater Biol.*, 6: 125-136.
- Meijer, E.L. and Sutton, D.L. 1987. Influence of plant position on growth of duckweed. *J. Aquat. Plant Manage.*, 5: 28-30.
- Mestayer C., Culley, D.D., Standifer, L.C. and Koonce, K.L. 1984. Solar energy conversion efficiency and growth aspects of the duckweed, *Spirodela punctata*. *Aquat. Bot.*, 19: 157-70.
- Mohedano, R.A., Rodrigues, J.B.R. e Fracalossi, D.M. 2005. *Lemna valdiviana*, uma planta que além de tratar efluentes alimenta os peixes cultivados. *Panorama da Aqüicultura*, 15: 33-40.
- Monette, F., Samir, L., Louise, M. and Abdelkrim, A. 2006. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication. *Water Res.*, 40: 2901-2910.
- Morales, N. Arévalo, K., Ortega, J., Briceño, B.,

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

- Andrade, C. y Morales, E. 2006. EL pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna* spp. *Rev. Fac. Agron.*, 23: 70-83.
- Muhonen, M., Showman, J. and Couch, R. 1983. Nutrient absorption by *Spirodela polyrhiza*. *J. Aquat. Plant. Manage.*, 21: 107-109.
- Muztar, A.J., Slinger, S.J. and Burton, J.H. 1978. Chemical composition of aquatic macrophytes I. Investigation of organic constituents and nutritional potential. *Can. J. Plant Sci.*, 58: 829-841.
- Naskar, K., Banarjee, A.C., Chakraborty, N.M. and Ghosh, A. 1986. Yield of *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer from cement cisterns with different sewage concentrations, and its efficacy as a carp feed. *Aquaculture*, 51: 211-216.
- Olvera-Novoa, M.A., Campos, S.G., Sabido, M.G. and Martínez, C.A.P. 1990. The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 90: 291-302.
- Olvera-Novoa M.A., Pereira-Pacheco, F. and Olivera-Castillo, L. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*) protein concentrate as replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture*, 158: 107-116.
- Oporto, C., Arce, O., Van den Broeck, E., Van der Bruggen, B. and Vandecasteele, C. 2006. Experimental study and modelling of Cr (VI) removal from wastewater using *Lemna minor*. *Water Res.*, 40: 1458-1464.
- Oron, G. 1994. Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production. *Agric. Water Manage.*, 26: 27-40.
- Oron, G., Porath, D. and Cansen, H. 1987. Performance of duckweed species *Lemna gibba* on municipal wastewater for effluent renovation and protein production. *Biotechnol. Bioeng.*, 29: 258-268.
- Oron, G., de-Vegt, A. and Porath, D. 1988. Nitrogen removal and conversion by duckweed grown on waste-water. *Water Res.*, 22: 179-184.
- Peters, D., Ramón, R., Morales, A., Ever, D., Morales, S., Nerva, M., Hernández, R., y Jim, L. 2009. Evaluación de la calidad alimentaria de la harina de *Lemna* obscura como ingrediente en la elaboración de alimento para tilapia roja (*Oreochromis* spp.). *Revista Científica*, 19: 303-310.
- Pezzato, L.E., Carvalho, M.E., Barros, M.M., Quintero, P.L.G., Massumitu, F.W. e Pezzato, A.C. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.*, 31: 1595-1604.
- Porath, D., Hefher, B. and Koton, A. 1979. Duckweed as an aquatic crop: Evaluation of clones for aquaculture. *Aquat. Bot.*, 7: 273-278.
- Porath, D. and Pollock, J. 1982. Ammonia stripping by duckweed and its feasibility in circulating aquaculture. *Aquat. Bot.*, 13: 125-131.
- Portielje, R. and Roijackers, R.M.M. 1995. Primary succession of aquatic macrophytes in experimental ditches in relation to nutrient input. *Aquat. Bot.*, 50: 127-140.
- Reddy, K.R. and Busk, W.F. de 1985. Growth characteristic of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: II. *Azolla*, duckweed, and *Salvinia*. *Eco. Bot.*, 39: 200-208.
- Reddy, K.R. and Busk, W.F. de 1987. State of arte utilizations of aquatic plants in water pollution control. *Water Sci. Technol.*, 19: 61-79.
- Reigh, R.C., Braden, S.L. and Craig, R.J. 1990. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp cryfish, *Procambarus clarkii*. *Aquaculture*, 84: 321-334.
- Rincon-Carruyo, X.R., Clavero C., T.J., Márquez, A.T., Rincón-Urdaneta, E. y Quintero, C.F. 1998. Crecimiento y producción de cultivares de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en macetas. I. Fase de establecimiento. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 15: 359-367.
- Rothwell, W.G., Van Atta, R.M., Ballard Jr., E.H. and Stockey, R.A. 2004. Molecular phylogenetic relationships among Lemnaceae and Araceae using the chloroplast trnL-trnF intergenic spacer. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 30: 378-385.
- Rusoff, L.L., Blakeney, E.W. and Culley, D.D. 1980. Duckweeds (Lemnaceae family): A potential source of protein and amino acids. *J. Agric. Food Chem.*, 28: 848-85.
- Santiago, B.C. and Lovell, R.T. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *J. Nutr.*, 118: 1540-1546.
- Santos, E.V. 1987. Direct and indirect nutritional values of the duckweed lemna as a feed for Nile tilapia. M.Sc. Thesis. AIT Thesis No. AE-87-37. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.
- Schneider, O., Amirkolaie, K.A., Vera-Cartas, J.,

ZETINA CÓRDOBA ET AL.

- Eding, H.E., Schrama, J.W. and Verreth, J.A.J. 2004. Digestibility, faeces recovery, and related carbon, nitrogen and phosphorus balances of five feed ingredients evaluated as fishmeal alternatives in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquacult. Res.*, 35: 1370-1379.
- Šetlíková, I. and Adámek, Z. 2004. Feeding selectivity and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on temperature aquatic macrophytes. *Czech. J. Anim. Sci.*, 49: 271-278.
- Shahidur, R.M., Asaduzzaman, K.M., Azizur, R.M. and Aminur, R.M. 2001. Studies on production of the duckweed, *Lemna minor*. *J. Aquacult. Trop.*, 16: 309-322.
- Shrestha, M.K. and Bhujel, R.C. 1999. A preliminary study on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) polyculture with common carp (*Cyprinus carpio*) fed with duckweed (*Spirodela*) in Nepal. *Asian Fisheries Sci.*, 12: 83-89.
- Skillicorn, P., Spira, W. and Journey, W. 1993. Duckweed aquaculture: A new aquatic farming system for developing countries. The International Bank for Reconstruction and Development. Washington, D.C.
- Smart, C.C. and Trewawas, A.J. 1983. Abscisic-acid-induced turion formation in *Spirodela polyrrhiza* L. II. Ultrastructure of the turion; a stereological analysis. *Plant Cell Environ.*, 6: 515-522.
- Smart, C.C. and Fleming, A.J. 1993. A plant gene with homology to d-myo-inositol-3-phosphate synthase is rapidly and spatially up-regulated during an abscisic-acid-induced morphogenic response in *Spirodela polyrrhiza*. *Plant J.*, 4: 279-293.
- Srivastav, R.K., Gupta, S.K., Nigam, K.D.P. and Vasudevan, P. 1994. Treatment of chromium and nickel in wastewater by using aquatic plants. *Water Res.*, 28: 1631-1638.
- Staves, R.P. and Knaus, R.M. 1985. Chromium removal from water by three species of duckweeds. *Aquat. Bot.*, 23: 261-273.
- Sullivan, J.A. and Reigh, R.C. 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* female X *Morone chrysops* male). *Aquaculture*, 138: 313-322.
- Sutton, D.L. and Ornes, W.H. 1977. Growth of *Spirodela polyrrhiza* in static sewage effluent. *Aquat. Bot.*, 3: 231-237.
- Tavares de A.F., Lapolli F.R., Roubach, R., Jungles, M.K., Machado, F.D. and Moreira, A.M. 2010. Use of domestic effluent through duckweeds and red tilapia farming in integrated system. *Pan. American J. Aquat. Sci.*, 5: 1-10.
- Tavares de A.F., Rodrigues, R.J.B., Machado, F.D., Esquivel, J. and Roubach, R. 2008. Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. *Biotemas*, 21: 91-97.
- Thy, S., Khieu, B., Vanvuth, T., Buntha, P. and Preston, T.R. 2008. Effect of water spinach and duckweed on fish growth performance in polyculture ponds. *Cambodia J. Agric.*, 7: 12-16.
- Tripathi, B.D., Srivastava, J. and Misra, K. 1991. Nitrogen and phosphorus removal capacity of four chosen aquatic macrophytes in tropical freshwater ponds. *J. Env. Qual.*, 18: 143-147.
- Van der Heide, T., Roijackers, M.M.R., Nes H.E. van and Peeters, T.H.M.E. 2006. Simple equation for describing the temperature dependent growth of free-floating macrophytes. *Aquat. Bot.*, 84: 171-175.
- Vermaat, J.E. and Hanif, K.M. 1998. Performance of common duckweed species (Lemnaceae) and the water fern *Azolla filiculoides* on different types of waste water. *Wat. Res.*, 32: 2569-2579.
- Wahaab, R.A., Lubberding, H.J. and Alaerts, G.J. 1995. Copper and chromium (III) uptake by duckweed. *Water Sci. Technol.*, 32: 105-110.
- Wedge, R.M. and Burris, J.E. 1982. Effects of light and temperature on duckweed photosynthesis. *Aquat. Bot.*, 13: 133-140.
- White, S.L. and Wise, R.R. 1998. Anatomy and ultrastructure of *Wolffia columbiana* and *Wolffia borealis*, two nonvascular aquatic angiosperms. *Int. J. Plant Sci.*, 159: 297-304.
- Wolverton B.C. and McDonald, R.C. 1981. Energy from vascular plants wastewater treatment systems. *Eco. Bot.*, 35: 224-232.
- Wu, G.S., Chung, Y.M., Lin, W. Y., Chen, S.Y. and Chen, H.H. 2004. Effect of substituting de-hulled or fermented soybean meal for fishmeal in diets on growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O.aureus*. *J. Fis. Soc. Taiwan*, 30: 291-297.
- Ying, F.Y., Babourina, O., Rengel, Z., Yang, E.X.

UTILIZACIÓN DE LA LENTEJA AGUA (LEMNACEAE) PARA TILAPIAS

- and Min. P.P. 2007. Ammonium and nitrate uptake by the floating plant *Landoltia punctata*. *Ann. Bot.*, 99: 365-370.
- Yousif, O.M, Alhadrami, G.A. and Pessaraki, M. 1994. Evaluation of dehydrated alfalfa and salt bush (*Atriplex*) leaves in diets for tilapia (*Oreochromis aureus* L.). *Aquaculture*, 126: 341-347.
- Zayed, A., Gowthanman, S. and Norman, T. 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plant. *J. Environ. Qual.*, 27: 715-721.
- Zimmo, O. 2003. Nitrogen transformation and removal mechanisms in algal and duckweed waste stabilisation ponds. Doctoral thesis. Wageningen University. The Netherlands.
- Zirschky, J. and Redd, S.C. 1988. The use of duckweed for waste water treatment. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 60: 1253-1258.
- Zuberer, D.A. 1982. Nitrogen fixation (acetylene reduction) associated with duckweed (Lemnaceae) mats. *Appl. Environ. Microbiol.*, 43: 823-828.