

LAS PLANTAS ACUATICAS EN UN CONTEXTO DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES. I. *Azolla* spp.

J. Suárez y E. González

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"
Matanzas, Cuba**

Las plantas acuáticas son conceptuadas generalmente como malezas; sin embargo, en ocasiones se les da una utilización económica como alimento animal, fertilizante y para la descontaminación de efluentes.

Ello hace que en la literatura aparezca esporádicamente información vinculada con estos usos. Por tal razón, en este artículo se intenta resumir una parte importante de la información referente a las especies del género *Azolla*.

La *Azolla*, junto al Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), es una de las plantas acuáticas más utilizadas. La diferencia principal entre estas radica en que la primera no tiene propiedades depuradoras de aguas contaminadas, pero puede fijar cantidades apreciables de nitrógeno atmosférico.

Taxonomía y características morfológicas

Azolla es un género perteneciente a la familia *Salvinaceae*, orden Hidropteridinales, clase Filicales (González, Luisier y Font Quer, 1969) que agrupa varias especies de pequeños helechos acuáticos tales como: *Azolla filiculoides*, *Azolla microphylla*, *Azolla caroliniana*, *Azolla mexicana* y *Azolla pinnata*. En la figura 1 se muestran dos especies de este género.

Esta planta, de forma individual, usualmente alcanza entre 1 y 1,25 cm de longitud, pero puede llegar a los 4 cm y su diámetro es de 1-2 cm. Las pequeñas hojas tienen foliolos de 0,5 a 1 mm, son paripinnadas alternas y están solapadas en forma de escalera; mientras que las ramas parten del tallo central (Stanley, 1978). Además posee rizomas y raíces individuales ramificadas (1-3 cm) en determinados puntos (Ruschel, 1987).

Por su parte Stanley (1978) observó que la planta formaba esporas en unos cuerpos conocidos como esporangios, los cuales eran poco visibles y aparecían entre las hojas. Este mismo autor informó un aspecto interesante referente al cambio de color en la *Azolla*: las plantas jóvenes o densamente sombreadas son usualmente verdes; mientras que las adultas o expuestas directamente al sol son rojizas.

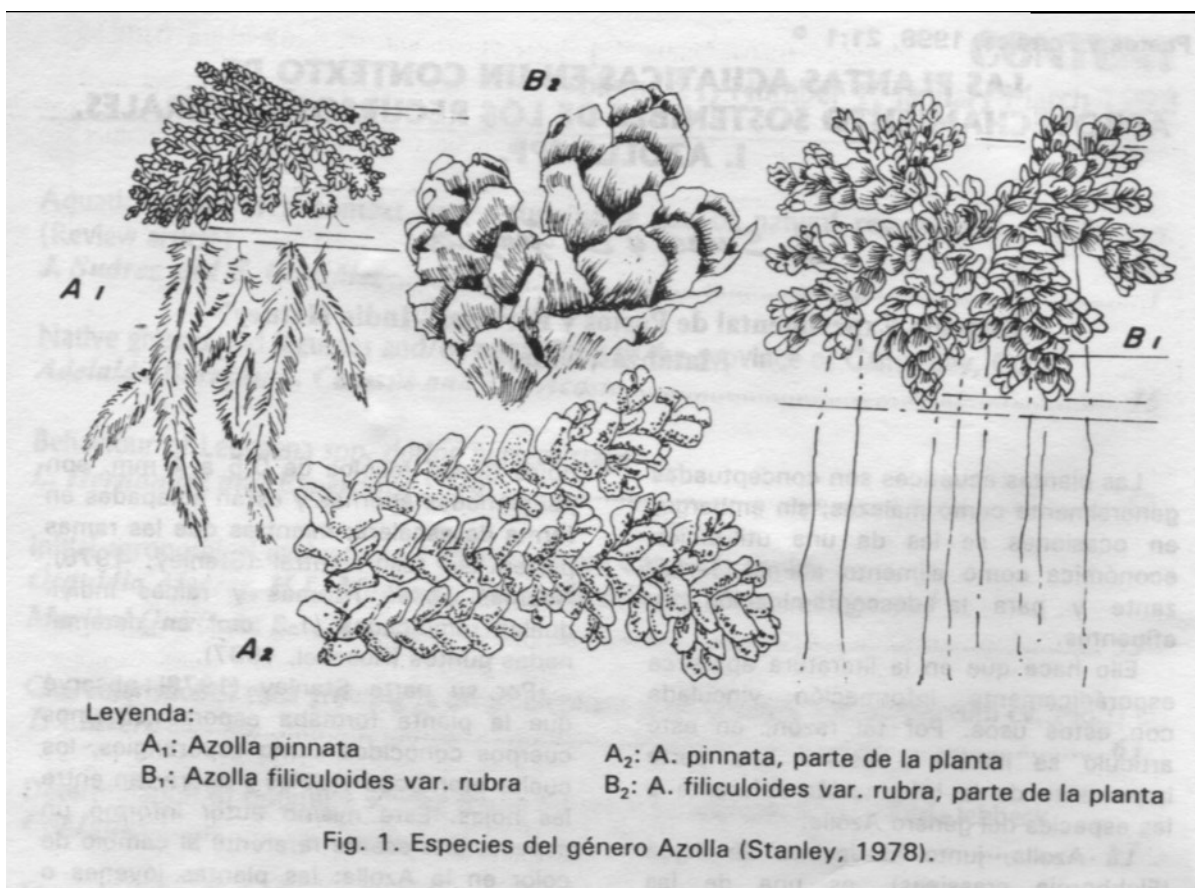
Origen, distribución y habitat

El origen de la *Azolla* no se ha encontrado citado en la literatura, pero al parecer es originaria del trópico y el subtrópico y está ampliamente distribuida (Lumpkin y Plucknett, 1980), hallándose a menudo en asociación con otras plantas flotantes.

El agua donde se desarrolla puede tener temperaturas entre 15 y 35°C (Sing y Subudhy, 1978) y amplios rangos de pH, superiores a 4 (Druiff, 1973); la planta prefiere aguas tranquilas o de poco movimiento, así como ricas en nutrientes. Por su parte, Sánchez (1991) argumentó que este helecho requiere profundidades de 0,5 a 1 m para su cultivo.

La *Azolla* se propaga por fragmentación de sus partes, forma muy común en las plantas acuáticas, y mediante esporas por ser un helecho (Stanley, 1978). Como se puede apreciar, la *Azolla* tiene muy diversificada su propagación, lo que la dota de una alta capacidad de adaptación en aquellas condiciones donde sea factible su crecimiento y desarrollo.

A pesar de que la *Azolla* se considera como una maleza acuática, aunque en menor medida que Jacinto, *Lemna*, *Salvinia* y *Pistia*, algunas investigaciones en los últimos años han demostrado que esta especie constituye una excelente fuente de alimento animal y de fertilizante.



Uso de la *Azolla* como biofertilizante

La *Azolla*, en virtud de su capacidad de enriquecer el suelo, ha sido utilizada desde tiempos remotos en China y Viet Nam como abono verde en el arroz irrigado, según Fiore (1984) y Ruschel (1987), lo cual se logra mediante la simbiosis *Azolla-Anabaena*, que permite fijar nitrógeno atmosférico. Por su parte, Fiore (1984) realizó una experiencia en Goiania, Brasil, inoculando *Azolla* (1 t de masa verde/ha) en el momento en que el área arrocerá se inundó y demostró que la *Azolla* puede ser una fuente de N para el cultivo del arroz irrigado (tabla 1).

Esto significó un aumento de la producción con respecto al control de un 15, 46 y 56 % para *Azolla*, 60 kg de N/ha y 60 kg de N/ha + *Azolla*, respectivamente.

Ruschel (1987) informó que todas las especies de *Azolla* presentaron los niveles máximos de N en el mes de noviembre (1 454-3 790 mg/m²); *A. filiculoides* y *A. microphylla* fueron las especies más promisorias por tener mayor acumulación de N y mejores rendimientos por períodos más prolongados. La relación N:P estuvo en el orden de los 7, lo que indica que la *Azolla* necesita elevadas cantidades de fósforo para lograr una acumulación eficiente de N. Esta relación es más amplia en otras plantas que tienen simbiosis con fijadores de nitrógeno; por ejemplo, en la soya estuvo en el orden de 9 ó 10:1 y los niveles máximos de N y P acumulados variaron entre 29 y 37 y entre 3,1 y 4,6 kg/ha, respectivamente.

Tabla 1. Efecto de la asociación *Azolla filiculoides*-*Oryza sativa* var. IAC-899 (Fiore, 1984).

	Producción (t/ha)	Peso de 100 simientes (g)	Número de panículas/planta	Número de espículas/panícula
Control	3,4	2,89	8,14	9,43
<i>Azolla</i>	3,9	2,89	8,37	9,57
60 kg de N/ha	4,9	2,90	9,70	11,46
60 kg de N/ha + <i>Azolla</i>	5,3	2,93	7,21	10,79

Siembra y cosecha

Aunque no existe mucha información al respecto, Sarria, Gómez, Rodríguez, Molina, Molina y Murgueitio (1994) recomendaron añadir 300 g de la ciano-bacteria *Anabaena*/m² de semilla de *Azolla* sembrada. Estas siembras se pueden hacer en estanques naturales o artificiales y en estos últimos Becerra, Murgueitio, Reyes y Preston (1990); Ocampo (1994) y Sarria et al. (1994) han trabajado a una profundidad entre 0,7 y 1,0 m, aunque Becerra et al. (1990) han obtenido buenos resultados a 0,4 m.

Los anteriores autores y Sarria (1994) consideran que esta planta, al igual que el resto de las plantas acuáticas, tiene un ciclo de cosecha de 3-7 días y recomiendan dejar en el estanque el 25 % como semilla para el próximo cultivo; la forma más común de cosecha es la manual.

Rendimiento

Azolla es una planta con elevados rendimientos, como los encontrados en los llanos occidentales de Colombia por Sánchez (1991), donde este helecho produjo 432 t/ha/año en base húmeda en lagos de 0,5-1 m de profundidad; mientras que Ruschel (1987), al evaluar en Brasil el efecto estacional sobre el rendimiento de diferentes especies de *Azolla*, fertilizadas inicialmente con 30 y 20 kg de P₂O₅ y K₂O/ha, encontró resultados interesantes (tabla 2). Además se deben destacar otros aspectos:

- *A. mexicana* tuvo bajos rendimientos en todo el año, con un valor promedio de 7,6 g/m², excepto en los picos bruscos que se produjeron en noviembre, diciembre y julio, lo que indica que no es una especie adecuada para su cultivo.
- Los rendimientos entre enero y agosto solo sobrepasaron los 25 g/m² en *A. microphylla* y *A. mexicana* y los niveles más bajos ocurrieron en enero y febrero. Esta observación coincide con la de Lumpkin y Plucknett (1980), quienes propusieron que estos 2 meses sean excluidos del calendario de cultivo de la *Azolla*. Todas las especies tuvieron su máxima producción en el mes de noviembre, con valores mínimos de 34,8 g/m² (*A. pinnata*) y máximos de 77,0 g/m² (*A. microphylla*); lo mismo ocurrió con la producción de N total.
- La especie con un mayor rendimiento durante períodos más prolongados fue *A. microphylla*, la cual se mantuvo desde julio hasta enero con producciones mayores que 22 g/m².

Tabla 2. MS (g/m²) de diferentes especies de *Azolla* después de 21 días de desarrollo (Ruschel, 1987).

1983							
	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
<i>A. caroliniana</i>	13,1 ^a	14,6 ^b	17,5 ^{ab}	16,5 ^b	23,4 ^b	38,6	31,9 ^{ab}
<i>A. filiculoides</i>	8,6 ^a	14,2 ^b	19,9 ^{ab}	25,8 ^a	28,7 ^b	56,6	23,8 ^{ab}
<i>A. mexicana</i>	2,4 ^b	3,5 ^d	5,6 ^c	5,5 ^c	5,7 ^c	63,5	30,3 ^{ab}
<i>A. microphylla</i>	7,3 ^{ab}	22,2 ^a	23,8 ^a	20,5 ^{ab}	56,7 ^a	77,0	51,4 ^a
<i>A. pinnata</i>	6,5 ^b	6,8 ^c	14,0 ^{ab}	4,8 ^c	3,4 ^c	34,8	4,4 ^b
CV (%)	36,9	13,5	27,0	9,8	19,2	50,2	49,4

1984								
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
<i>A. caroliniana</i>	5,8	1,5	6,6	9,9 ^{bc}	23,5 ^a	4,0 ^c	6,0 ^c	10,8
<i>A. filiculoides</i>	0,8	2,4	6,7	15,8 ^a	6,8 ^{bc}	7,8 ^a	15,9 ^a	20,0
<i>A. mexicana</i>	5,7	3,8	12,1	13,7 ^{ab}	9,8 ^{bc}	6,4 ^{ab}	9,4 ^b	14,0
<i>A. microphylla</i>	34,1	5,0	13,4	12,5 ^{ab}	13,5 ^b	4,4 ^{bc}	7,0 ^{bc}	11,3
<i>A. pinnata</i>	4,6	4,4	11,6	3,9 ^c	3,2 ^c	5,5 ^{bc}	8,0 ^{bc}	5,2
CV (%)	164,0	67,4	84,0	21,7	37,0	16,3	12,5	72,3

a,b,c Valores con superíndices no comunes difieren a P<0,05 (Tukey)

En el experimento se encontró que la relación materia verde/materia seca promedio fue superior a 25 y el tiempo de duplicación de la planta varió de 3 a 6 días.

Stanley (1978) informó que en aguas cálidas con un alto contenido de nutrientes, el crecimiento es muy rápido y en un corto tiempo un colchón vegetal puede cubrir completamente la superficie acuática. En Colombia, además del citado anteriormente por Sánchez (1991), se han dado a conocer rendimientos promedio

entre 133 y 200 g/m²/día en base verde, es decir, entre 7 y 10,5 g de MS/m²/día (Chará, 1994; Ocampo, 1994; Sarria et al., 1994).

Becerra et al. (1990) evaluaron el rendimiento de *A. filiculoides* en un ensayo desarrollado entre junio y octubre de 1989 (154 días) y obtuvieron altos valores dentro del rango mencionado por Lumpkin y Plucknett (citados por Becerra et al., 1990), que fue de 6-9 t de proteína/ha/año (tabla 3).

Composición química

Azolla spp. es, además de *E. crassipes* y *Lemna*, la única planta acuática que posee la evaluación más completa de su composición química, según el análisis bromatológico de *A. filiculoides* (tabla 4) realizado por Cuéllar y Rodríguez (citados por Ocampo, 1994).

Tabla 3. Rendimiento estimado de *A. filiculoides* (Becerra et al., 1990).

Area total de los tanques (m ²)	468
Cosecha diaria (kg)	100
Cantidad total en base fresca	5
Cantidad total en base seca	
Proteína en MS (%)	23
Proteína total diaria(kg)	1,15
Producción anual estimada (t/ha)	
Biomasa	39
Proteína	9

Tabla 4. Análisis bromatológico de *A. filiculoides* en la Hacienda Arizona, Colombia.

Composición	% en base seca
PB	30,46
MS	5,00
FB	18,12
ENN	29,60
P	0,40
Ca	1,00
Grasa	3,08
Cenizas	18,74

Otros autores solo dan a conocer los valores de PB y MS, los cuales varían entre 23 y 30 % y entre 5 y 7 % respectivamente (Dolberg, Saadullah y Hague, 1981; Becerra et al., 1990; Chará, 1994; Ocampo, 1994); los mayores valores se han obtenido en aguas fertilizadas.

Por su parte, Becerra et al. (1990) analizaron los niveles de macronutrientes, que se encontraban en el rango citado por la literatura (tabla 5).

Tabla 5. Niveles de macronutrientes (% en base seca) en *Azolla* (Becerra et al., 1990).

	Ensayo	Literatura (Van Hove y López, 1983)
N	3,8	2,0-5,3
P	0,7	0,2-1,6
Ca	1,7	0,5-1,7
K	1,8	0,3-6,0

Como se puede observar, esta planta acuática posee un bajo contenido de MS pero altos contenidos de PB y fósforo, por lo que resulta superior al follaje del Nacadero, un árbol forrajero muy promisorio no solo en estos

dos últimos componentes, sino también en el contenido de FB y N, y es comparable con el follaje de *Leucaena* y *Gliricidia*, entre otros.

Uso de la Azolla como alimento animal

La primera cita encontrada sobre el uso de la *Azolla* en la alimentación animal fue la de Singh y Subudhy (1978) en la India, quienes concluyeron que esta planta podía reemplazar alrededor del 20 % del pienso comercial en las dietas de engorde de pollos; para alimentar 100 pollos era necesario alrededor de 9 kg de *Azolla* fresca/día, lo cual se producía en 60 m² de estanque. Además, dieron a conocer que esta especie podía sustituir un 20-25 % del concentrado en dietas de gallinas White Legons. Su uso en aves fue señalado también por Men y Su (1990), específicamente en patos.

Becerra (1994) utilizó *A. microphylla* y *Lemna spp.* como reemplazo parcial de la proteína en dietas a base de grano de soya cocido y jugo de caña *ad libitum* destinadas a patos en crecimiento (1 mes de edad); los efectos del reemplazo de la Soya por la *Azolla* se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Efecto del reemplazo del grano de soya cocido por *Azolla* sobre el crecimiento y consumo de alimentos en patos de engorde (Becerra, 1994).

	Control	Azolla (%)			
		15	30	45	60
Ganancia PV/día (g)	28,6	30,4	28,3	24,1	21,4
Consumo (g/día)					
Soya cocida	55,7	52,8	42,7	34,2	25,4
<i>Azolla</i>	-	232,7	233,8	279,2	301,3
Jugo de caña	400	442,3	421,5	432,5	426,2
MS total (g)	131	148,7	135,5	133,7	127,1
PB total (g)	20,6	23,0	19,5	17,2	14,5
PB de la Azolla (g)	-	3,5	3,5	4,2	4,4
PB de la Azolla (%)	-	15,2	17,9	24,4	30,3
Lisina	1,5	1,6	1,3	1,2	1,0
Metionina + Cistina	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3
FB (%)	4,3	5,5	4,7	4,4	3,8
EE (%)	10,2	10,2	8,4	7,0	5,5
EM (MJ)	1,7	1,8	1,6	1,5	1,4
Conversión	4,59	4,86	4,77	5,57	5,95

En esta tabla se aprecia que la ganancia de peso vivo disminuyó cuando la inclusión de la *Azolla* reemplazó más del 17,9 % de la proteína total (a partir de 30 % de *Azolla*), lo cual se debió a que los consumos de PB total y de metionina fueron reducidos. Ello hace que la inclusión de *Azolla* sea recomendable hasta un 30 % en dietas de engorde de patos; además, el mejor resultado económico fue el tratamiento de *Azolla* al 30 % (tabla 7).

Otro elemento que también detectó Becerra (1994) fue el color naranja en las patas, el pico y la piel de los patos, debido al alto contenido de caroteno (366,25 mg/kg de MS), lo que es apreciado en el mercado.

Todos los estudios anteriores se refieren a la *Azolla* fresca; sin embargo, Figueroa y Rodríguez (1994) elaboraron una harina con mieles de caña de azúcar y *Azolla* (cultivada sobre residuales porcinos) para uso avícola, con una proporción miel B:*Azolla* de 64:36, según la MS.

Al comparar esta harina con otras parecidas, pero elaboradas con diferentes follajes como sustrato (tabla 8), se apreció una similitud en la composición química, aunque la que contenía *Azolla* fue la más rica en proteína.

En la tabla 9 se presentan los resultados del grado de aceptación y el valor nutritivo de esta harina. Se observó un buen consumo de la harina de miel B-*Azolla*, el cual fue menor que con cogollo y boniato, pero aproximado al de la harina de plátano; por su parte, la retención de la MS fue mayor que en el resto de las harinas y además resultó alta al compararla con lo informado por Alvarez (citado por Figueroa y Rodríguez, 1994) en dietas húmedas de miel final. Sin embargo, la digestibilidad fue baja, ya que en estas harinas el aporte principal de nitrógeno es la fracción fibrosa. Por otra parte, la energía metabolizable fue mayor que con boniato y similar al resto, pero superior al valor estimado para miel B (2,20) referido por Valdivié y Fraga (1988); mientras que la retención de energía fue alta, similar a la de la harina de cogollo y superior a la de plátano y

boniato, así como comparable con alimentos de mayor concentración energética: maíz (0,78), harina de yuca (0,76) y raíz de boniato (0,78), según lo planteado por Longe y Torra (1988).

Tabla 7. Análisis económico del efecto de reemplazar el grano de soya cocido por *Azolla* (Becerra, 1994).

	Control	<i>Azolla</i> (%)			
		15	30	45	60
Costo de la dieta (pesos/día)					
Soya cocida	27,8	26,4	21,4	17,1	12,7
<i>Azolla</i> fresca	-	2,3	2,3	2,2	3,0
Jugo de caña	8,0	8,8	8,4	8,6	8,5
Premezcla: Sal, vitaminas y minerales (0,5 % de la dieta)	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
Total	36,2	37,9	32,4	28,7	24,4

Tabla 8. Composición química de las harinas de miel B con diferentes sustratos (Figueroa y Rodríguez, 1994).

Sustrato (follajes)	MS (%)	PB (%)	Cenizas (%)	EB (Mcal/kg)	FB (%)
<i>Azolla</i>	90	10,9	18,6	3,47	8,5
Cogollo de caña	90	3,5	7,6	3,76	11,3
Plátano	91	5,2	8,8	3,73	8,2
Boniato	91	9,2	14,3	3,56	8,8
Yuca	87	6,3	11,9	ND	5,5

Tabla 9. Aceptabilidad y valor nutritivo de la harina de miel B con *Azolla* (Figueroa y Rodríguez, 1994).

Consumo (g/animal/día)	Retención de MS (%)	Digestibilidad del N (%)	EM (Mcal/kg)	Retención de energía EM:EB
241	75,3	32	2,47	0,7

Figueroa y Rodríguez (1994) recomendaron la inclusión de esta harina en el rango del 60-65 % de la ración en base seca, para sustituir los cereales en dietas avícolas; se necesitan diariamente solo 30 kg de harina, un volumen manipulable para alimentar 500 ponedoras, debido al bajo consumo de estos animales.

En los animales herbívoros también se ha utilizado la *Azolla* como fuente de proteína, con resultados más favorables que en los monogástricos, según Sánchez (1991). Singh (citado por Dolberg et al., 1981) evaluó el efecto de la suplementación de una dieta de paja de arroz y cogollo de caña de azúcar con una mezcla de concentrado y *Azolla*, sobre el crecimiento de novillas cruzadas (tabla 10). La mezcla de concentrado contenía 65 % de maíz, 15 % de afrecho de arroz, 16 % de torta de maní y 4 % de minerales y sal; su contenido proteico era de 17 % y de 29 % el de la *Azolla*.

En este ensayo se demostró que las plantas acuáticas pueden ser útiles en combinación con alimentos de baja calidad como la paja de arroz, la cual (al igual que el Jacinto) juega el papel de un buen componente fibroso para retener la digesta en el rumen el tiempo necesario para lograr una digestión apropiada.

Tabla 10. Efecto del concentrado y la *Azolla* como suplemento de una dieta de paja de arroz y cogollo de caña en el crecimiento de novillas cruzadas.

	Grupo suplementado	
	Con concentrados	Con <i>Azolla</i>
Consumo de paja de arroz + cogollo de caña (ad libitum) (kg de MS/cabeza/día)	2,1	2,1
Consumo del suplemento (kg de MS/cabeza/día)	1,5	0,9
Digestibilidad de la MO de la dieta (%)	45	59
Ganancia diaria de peso vivo (kg/cabeza)	0,14	0,33

Sánchez (1991) citó las experiencias obtenidas en una finca intensiva familiar en Colombia, donde se alimentaban chigüiros (animales herbívoros de las sabanas inundables del norte de Sudamérica) con forraje de millo y sorgo, suplementados con granos de este último y *A. filiculoides* en una proporción de 70 % de forraje y 30 % de suplemento en base seca. La eficiencia de la conversión alimentaria fue de 7,54 kg de MS/kg de peso vivo, con un consumo del 4 % del peso y una ganancia de 93 g/día, y se obtuvo un peso de 35 kg a los 10 meses de edad.

También se utilizó la *Azolla* y el grano de sorgo molido, junto a una fuente de nitrógeno no proteico, para suplementar los anteriores forrajes con destino a vacas de doble propósito, las cuales tuvieron una producción de 1 200 kg de leche/lactancia durante 250 días. Las crías se mantuvieron en amamantamiento restringido y se destetaron con un peso de 150 kg.

Hasta aquí se ha hecho referencia a la utilización de la *Azolla* como fuente de proteína en aves y rumiantes; sin embargo, la mayor cantidad de información se encontró en la producción porcina.

Becerra et al. (1990) evaluaron el efecto de reemplazar la proteína convencional por *Azolla* en dietas a partir de jugo de caña de azúcar para cerdos en crecimiento (20-50 kg) y en ceba (50-90 kg). Los cerdos necesitaron 200 g de proteína/día, para lo cual se utilizó un suplemento proteico convencional (90 % de harina de soya y 10 % de mezcla de vitaminas y minerales) que aportaba 500 g de proteína/animal/día y como dieta basal 7 litros de jugo de caña en el crecimiento y 11 en la ceba. En esa evaluación la *Azolla* fue fertilizada con 10 g de gallinaza/m²/día, aportando 100 kg de MV/cosecha (con 3 días de intervalo entre ellas) y secada la noche anterior a su uso. Los resultados del reemplazo de la soya por *Azolla* se muestran en la tabla 11.

Durante la fase de crecimiento el rendimiento decreció cuando se incrementó en la dieta la cantidad de *Azolla*; sin embargo, este efecto se invirtió durante la ceba, donde hubo una tendencia a que los cerdos alimentados con *Azolla* tuvieran un crecimiento más rápido que el control.

Estos autores trataron de dar una explicación a las diferencias entre ambas fases cuando plantearon que el factor limitante para el uso de la *Azolla* fresca en la dieta porcina es su baja densidad de nutrimentos, debido a la humedad elevada y la escasa habilidad de los cerdos jóvenes para consumir las cantidades requeridas.

Por otra parte, no existió un desbalance de aminoácidos debido a la inclusión de la *Azolla*, pues esta planta parece tener un mejor perfil de aminoácidos que la soya (tabla 12).

En la tabla se puede observar que la *Azolla* aportó un nivel superior de aminoácidos que el control, e incluso que el óptimo para cerdos en crecimiento (Wang y Fuller, 1989), con excepción de la metionina + cistina y la treonina. Todo lo anterior hace que sean necesarias otras pruebas para que la explicación dada por Becerra et al. (1990) sea aceptada o no.

Ocampo (1994) utilizó similares rangos de sustitución de la soya por *Azolla*, pero con una dieta basal de pulido de arroz y aceite crudo de palma africana. En este ensayo se empleó *A. filiculoides* fertilizada y cosechada cada 6 días y 32 cerdos cruzados (Yorkshire y Landrace) de 20 kg como peso promedio. En la tabla 13 se muestra la cantidad de alimentos ofrecidos según el tratamiento; lo único que aumentó de una fase a otra fue el pulido de arroz y el aceite de palma.

El comportamiento del crecimiento de los cerdos al sustituir la proteína de soya por *Azolla* se observa en la tabla 14; la ganancia diaria con inclusión del 10 y 20 % de *Azolla* fue superior con relación al control, además de presentar una mejor conversión y un rendimiento similar en la carcasa, por lo que la *Azolla* puede reemplazar hasta un 20 % de la proteína de soya sin deteriorar el comportamiento biológico en ambas fases con una dieta básica de aceite crudo de palma africana y salvado de arroz.

Sarría, Villavicencio y Orejuela (1991) observaron que debido a la excelente composición de aminoácidos que posee *A. filiculoides*, esta pudo reemplazar hasta el 30 % de la proteína de la torta de soya en cerdos en ceba, con mejores resultados biológicos y económicos que con la soya en su totalidad.

Tabla 11. Ganancia de peso vivo, consumo de alimentos y conversión alimentaria durante las fases de crecimiento, ceba y total (Becerra et al., 1990).

	Control	Proteína reemplazada por Azolla (%)		ES (probabilidad)
		15	30	
No. de cerdos	13	13	11	
Crecimiento				
Ganancia/día (kg)	0,425	0,363	0,341	±0,019 (0,01)
Período de tiempo (días)	71	85	85	
Consumo (kg/día)				
<i>Azolla</i>	-	2,6	5,2	
MS	1,83	1,89	1,95	
Conversión (basada en MS)	4,3	5,2	5,7	
Ceba				
Ganancia/día (kg)	0,540	0,589	0,568	±0,034 (0,21)
Período de tiempo (días)	67	69	69	
Consumo (kg/día)				
<i>Azolla</i>	-	2,6	5,2	
MS	2,65	2,71	2,77	
Conversión	4,9	4,6	4,87	
Período total				
Ganancia diaria (kg)	0,482	0,475	0,454	±0,045 (0,80)
Período de tiempo (días)	138	154	154	
Consumo (kg/día)				
<i>Azolla</i>	-	2,6	5,2	
MS	2,27	2,33	2,39	
Conversión	4,73	4,90	5,26	

Tabla 12. Balance de aminoácidos (como % de lisina = 100) requeridos para cerdos en crecimiento comparado con los que provee la harina de soya (suplemento control) y las combinaciones de harina de soya y *Azolla*.

	Optimo*	Control	Por ciento de proteína sustituido por <i>Azolla</i>	
			15	30
Lisina	100	100	100	100
Metionina + Cistina	63	48	50	53
Treonina	72	61	63	65
Triptófano	18	22	23	25
Valina	75	83	86	89
Isoleucina	60	90	89	88
Leucina	110	133	134	135
Fenilalanina + Tirosina	120	139	141	143
Relación AA esenciales y no esenciales	50:50	40:60	42:58	43:57

* Wang y Fuller (1989)

Tabla 13. Cantidad de alimentos ofrecidos de acuerdo con los tratamientos (kg/animal/día).

	Sustitución de proteína de soya por proteína de <i>Azolla</i> (%)			
	0	10	20	30
Fase de crecimiento (20-60 kg)				
Suplemento*	0,50	0,45	0,40	0,35
Pulido de arroz (salvado)	0,10	0,10	0,10	0,10
Aceite crudo de palma	0,50	0,50	0,50	0,50
<i>Azolla</i> fresca	-	1,74	3,48	5,21
Fase de ceba (60-90 kg)				
Suplemento*	0,50	0,45	0,40	0,35
Pulido de arroz	0,15	0,15	0,15	0,15
Aceite crudo de palma	0,80	0,80	0,80	0,80
<i>Azolla</i> fresca	-	1,74	3,48	5,21

* Contiene: Harina de soya 86 %; fosfato dicálcico 10 %; mezcla de vitaminas y minerales 2 %; sal 2 %

Tabla 14. Comportamiento del crecimiento de los cerdos durante todo el período (112 días).

	Sustitución de proteína de soya por <i>Azolla</i>				ES ±
	0	10	20	30	
Ganancia/día (kg)	0,526	0,561	0,535	0,452	0,09
Consumo (kg/día)					
Suplemento	0,5	0,45	0,4	0,35	
<i>Azolla</i>	-	1,17	2,0	2,1	
Aceite de palma	0,57	0,55	0,54	0,5	
Pulido de arroz	0,11	0,11	0,11	0,11	
MS total	1,11	1,10	1,0	1,0	
Conversión de la MS	2,1	1,98	2,0	2,2	0,34
Rendimiento de la carcasa (%)	85	84	84	88	

Años más tarde, Sarría et al. (1994) volvieron a emplear *A. filiculoides* y la *Salvinia natans* (10 kg en base fresca/animal/día) + 400 g de aceite crudo de palma africana + 100 g de vitaminas y minerales, esta vez en cerdas gestantes, utilizando las plantas como única fuente de proteína durante la gestación, desde que las cerdas destetaron sus camadas hasta 15 días antes del siguiente parto; los resultados fueron buenos, pues según Speer (1991) una cerda gestante requiere diariamente 147 g de proteína y esta cantidad fue cubierta totalmente con las plantas acuáticas, sin disminuir los rendimientos de la camada al nacer ni el bienestar de la madre, en comparación con dietas de concentrados, además del reemplazo total de la proteína convencional durante esta etapa, lo que se refleja en el bajo costo de un lechón al nacer.

Los autores anteriores también calcularon el costo de producción de 1 kg en base fresca de plantas acuáticas, el cual es de 0,008 USD e incluye la depreciación anual/m³ de estanque, la mano de obra, el transporte a los corrales, la fertilización, el bombeo de agua y el empaque. Al comparar el costo por unidad de proteína de *Azolla* con el de una materia prima de alto valor proteico (torta de soya), se observó que en la torta fue un 62 % mayor que en la *Azolla*, lo que permite reducir los costos de alimentación en cerdas gestantes.

Otro aspecto importante es que las plantas acuáticas aportan 9 t de proteína seca/ha/año, sin causar efectos negativos para los recursos naturales, como son la compactación del suelo por efecto de la maquinaria, la pérdida de micro y macroorganismos, así como la contaminación de las fuentes de agua por agroquímicos, como sucede en el cultivo de la soya. Es decir, que estas plantas acuáticas reemplazan el 100 % de la proteína en cerdas gestantes y el 20 ó 30 % en cerdos en levante-ceba. Esto conlleva una reducción de hasta el 55 % de los costos en comparación con dietas de cereales y oleaginosas.

Por último Hernández, Fernández y Loaces (1995) dieron a conocer los resultados del uso de la *Azolla* en cerdos por primera vez en Cuba, los cuales se muestran en la tabla 15.

La inclusión de la *Azolla* aportó diferencias significativas ($P<0,05$) con respecto a la dieta basada únicamente en concentrado y permitió que el valor de la producción de carne fuese superior en \$3 026,92. Los autores de esta investigación son de la opinión que el aporte de *Azolla* influye en un mayor consumo de alimentos y, por ende, en un aumento de peso. Además, al evaluar su efecto en el control de la colibacilosis se observó que la *Azolla* redujo en más de un 50 % los animales tratados y en un 66 % las muertes, lo que se debió al alto valor nutritivo y al contenido de vitamina A.

Tabla 15. Efecto de la inclusión de *Azolla* en una dieta para cerdos (60.200 días) a base de concentrados.

	Tratamientos	
	A Concentrado + <i>Azolla</i>	B Concentrado
Aumento de peso vivo (kg)	81,0	69,3
Ganancia diaria (kg)	0,578	0,495
Conversión	2,83	3,56

CONCLUSIONES

En este artículo se aprecia que la *Azolla*, una planta acuática que por su rápida propagación y crecimiento se le considera una maleza, también tiene sus bondades. Su posibilidad de fijar nitrógeno atmosférico debido a la asociación con *Anabaena azollae*, sus excelentes rendimientos y su importancia como alimento, dada por los altos valores de PB que varían entre 23 y 30 %, la apropiada composición de macronutrientes y aminoácidos esenciales, la aceptabilidad por parte de los rumiantes y los monogástricos y su digestibilidad, hacen de esta planta una alternativa económica para la agricultura tropical.

CONCLUSIONS

It is appreciated in this article that Azolla, which is an aquatic plant considered to be a weed due to its fast propagation and growing habit, has also its kindness. This plant has been considered as an economical alternative for the tropical agriculture due to its possibilities of atmospherical N fixation associated with Anabaena azollae, its excellent yields, its feeding potential according to the CP values that range among 23 and 30 %, its appropriate macronutrient composition and essential aminoacids, its digestibility and also due to its acceptability by ruminants and monogastric animals.

REFERENCIAS

- BECERRA, MARICEL. 1994. Evaluación de sistemas alimenticios para patos en crecimiento basado en plantas acuáticas y jugo de caña de azúcar. Memorias III Seminario Internacional "Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios". CIPAV. Cali, Colombia. p. 179
- BECERRA, MARICEL; MURGUEITIO, E.; REYES, G. & PRESTON, T.R. 1990. *Azolla filiculoides* as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice. **Livestock Research for Rural Development**. 2:15
- CHARA, J.D. 1994. La agricultura: una alternativa para descontaminar y producir. Memorias III Seminario Internacional "Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios". CIPAV. Cali, Colombia. p. 167
- DOLBERG, F.; SAADULLAH, M. & HAGUE, M. 1981. Valor alimenticio de las plantas acuáticas. **Producción Animal Tropical**. 6:352
- DRUIJFF, A.H. 1973. Possible approaches to water hyacinth control. **Pans**. 19 (2): 219
- FIGUEROA, VILDA & RODRIGUEZ, JUANA. 1994. Un alimento seco para aves basado en mieles de caña de azúcar. **Livestock Research for Rural Development**. 6:74
- IORE, MARLI DE FATIMA. 1984. Efeito da utilizacao de *Azolla* na producao de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**. 19:387
- GONZALEZ, R.; LUISIER, A. & FONT QUER, P. 1969. Historia Natural. Tomo III. Botánica. VI Ed. Instituto Gallach, Barcelona. p. 138
- HERNANDEZ, O.; FERNANDEZ, R. & LOACES, MARIA J. 1995. Primera experiencia en la utilización de la *Azolla* en la alimentación y control de la colibacilosis de los cerdos en Cuba. Programa y Resúmenes. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. ISCAH. La Habana, Cuba. p. 87

- LONGE, O.G. & TORRA, G.O. 1988. Metabolizable energy values of tropical feedstuffs for poultry. *Tropical Agriculture (Trinidad)*. 65:358
- LUMPKIN, T.A. & PLUCKNETT, D.L. 1980. *Azolla*, botany, physiology and use as green manure. *Econ. Bot.* 34:11
- MEN, B.X. & SU, V.V. 1990. "A" molasses in diets for growing ducks. *Livestock Research for Rural Development*. 2:56
- OCAMPO, A. 1994. Raw palm oil as the energy source in pig fattening diets and *Azolla filiculoides* as a substitute for soya bean meal. *Livestock Research for Rural Development*. 6:8
- RUSCHEL, A.L. 1987. Efeito sazonal sobre o desenvolvimento e fixacao biológica de nitrogenio de diferentes especies de *Azolla*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 22:559
- SANCHEZ, H. 1991. Granja intensiva familiar con base en sorgo/millo y plantas acuáticas en los Llanos Orientales de Colombia. UNC. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. *Boletín Técnico*. 2:70
- SARRIA, PATRICIA. 1994. Efecto del nacedero como reemplazo parcial de la soya en cerdas en gestación y lactancia recibiendo una dieta básica de jugo de caña. *Livestock Research for Rural Development*. 6:65
- SARRIA, PATRICIA; VILLAVICENCIO, E. & OREJUELA, G.E. 1991. Utilización del follaje del nacedero en la alimentación de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*. 3:53
- SARRIA, PATRICIA; GOMEZ, MARIA E.; RODRIGUEZ, LYLIAN; MOLINA, J.P.; MOLINA, C.H. & MURGUEITIO, E. 1994. Pruebas de campo en el trópico con el uso de biomasa para sistemas integrados y sostenibles de producción animal. CIPAV. Cali, Colombia. 26 p.
- SINGH, P.K. & SUBUDHY, B.P.R. 1978. Nutritive value of the water fern *Azolla pinnata* for chicks. *Poultry Sci.* 57:378
- SPEER, V.C. 1991. Patroning N and aminoacids for pregnancy and lactation in swine: a review. *J. Anim. Sci.* 68:553
- STANLEY, T.D. 1978. Aquatic plants of Queensland. *Qld. Agric. J.* 104:371
- VALDIVIE, M. & FRAGA, L.M. 1988. Mieles, jugo de caña y sirope en la alimentación de aves. EDICA. La Habana, Cuba. p. 27
- WANG, T.C. & FULLER, M.F. 1989. The optimum dietary aminoacid pattern for growing pigs. 1. Experiment by aminoacid deletion. *British J. of Nutrition*. 62:77

Recibido el 2 de septiembre de 1996