

RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE *Azolla filiculoides* FERTILIZADA CON ESTIÉRCOL DE CUY EN ARBIETO, COCHABAMBA

Yield and nutritional value of *Azolla filiculoides* fertilized with guinea pig manure in Arbiето, Cochabamba

Daniel Alejandro Mancilla Castro¹, David Pérez Román²

RESUMEN

El helecho *Azolla filiculoides* habita en lagunas del valle de Cochabamba, pero no se ha reportado su uso en el ámbito agropecuario de tal contexto; tampoco se ha mencionado el uso de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en su cultivo, siendo necesario para evaluar su inclusión en sistemas de producción de cuyes. Por tanto, se evaluó el rendimiento y valor nutricional de *Azolla* fertilizada con estiércol de cuy en el municipio de Arbiето, departamento de Cochabamba utilizando tres ensayos: 1) primer ensayo (preexperimental); se sembró 4 kg de *Azolla* en un estanque de 4 m² de superficie y 0.5 m de profundidad fertilizado con 2 142 g de estiércol; 2) segundo ensayo (experimental, diseño completamente aleatorizado); se compararon dos tratamientos con estiércol dosificado a razón de 857 g (T2), 571 g (T1) y un control sin estiércol (T0) en estanques de 2 m² de superficie y 0.4 m de profundidad; y 3) tercer y último ensayo (preexperimental); se obtuvo el valor nutricional de *Azolla* fertilizada con 857 g de estiércol. Los resultados fueron: 1) primer ensayo; rendimiento de 87.12 g m⁻² día (IC95 % 35.90–138.35) de biomasa de *Azolla*; 2) segundo ensayo; rendimientos obtenidos de T2=64.19 g m⁻² día (IC95 % 41.21–87.17), T1=56.67 g m⁻² día (IC95 % 45.10–68.24) y T0=24.98 g/m²/día (IC95 % 22.30–27.67), hallando diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos en comparación (P=0.0008), pero no entre los tratamientos con estiércol (T1 y T2); 3) tercer ensayo; valor nutricional en materia seca (6.64 %), proteína (21.08 %), fibra (14.31 %), carbohidratos (43.67 %), cenizas (20.03 %), grasa (1.2 %) y valor energético (18.04 kcal g⁻¹). Estos parámetros manifiestan que puede utilizarse el estiércol de cuy como fertilizante para la producción de *Azolla* en el municipio de Arbiето del departamento de Cochabamba.

Palabras clave: *Azolla*, *Azolla filiculoides*, fertilizante, estiércol de cuy, rendimiento.

ABSTRACT

The *Azolla filiculoides* fern resides in lagoons of the Cochabamba valley, but its use in the agricultural field of such context has not been reported; The use of guinea pig manure (*Cavia porcellus*) in its cultivation has not been mentioned either, being necessary to evaluate its inclusion in guinea pig production systems. Therefore, the yield and nutritional value of *Azolla* fertilized with guinea pig manure in the Municipality of Arbiето, department of Cochabamba was evaluated using three trials: 1) first (pre-experimental); 4 000 g of *Azolla* were planted in a pond with a surface area of 4 m² and a depth of 0.5 m, fertilized with 2 142 g of manure; 2) second (completely randomized experimental design); Two treatments with manure dosed at a rate of 857 g (T2), 571 g (T1) and a control without manure (T0) were compared in ponds with a surface area of 2 m² and a depth of 0.4 m; 3) third and last (pre-experimental); the nutritional value of *Azolla* fertilized with 857 g of manure was obtained. The results were: 1) first trial; yield of 87.12 g m⁻² day (CI95 % 35.90–138.35) of *Azolla* biomass; 2) second trial; yields obtained from T2=64.19 g m⁻² day (CI95 % 41.21-87.17), T1=56.67 g m⁻² day (CI95 % 45.10-68.24) and T0=24.98 g m⁻² day (CI95 % 22.30-27.67), finding statistically significant differences between the three groups compared (P=0.0008), but not between the manure treatments (T1 and T2); 3) third trial; nutritional value in dry matter (6.64 %), protein (21.08 %), fiber (14.31 %), carbohydrates (43.67 %), ashes (20.03 %), fat (1.2 %) and energy value (18.04 kcal g⁻¹). These parameters show that guinea pig manure can be used as fertilizer for the production of *Azolla* in the Municipality of Arbiето in the department of Cochabamba.

Keywords: *Azolla*, *Azolla filiculoides*, fertilizer, manure, yield.

¹  Consultor estadístico en Centro de Investigación en Matemáticas y Economía José Eduardo Mancilla Pereira "CIME-EMP", Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3781-7586>. danielmancillacastro@hotmail.com

² Docente de Estadística en Universidad Simón Patiño "USIP-Cochabamba", Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5903-1010>. davidperezroman29@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) es un mamífero roedor originario de la zona andina de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (Chauca, 1997). La producción de estiércol del cuy es la más alta en cantidad y calidad en comparación a otras especies (Avilés et al., 2014). Por otro lado, la Azolla es un género de la familia Azollaceae de helechos criptógamos que flotan libremente en la superficie del agua (Ly, 2003; FAO, 1981). El nombre se deriva de las palabras griegas Azo (secar) y Ollya (matar) lo que significa que al helecho lo mata la sequía (FAO 1981). Con nombre común se le conoce como "helecho de agua", "helecho flotante", "doradilla", "yerba del agua" (Méndez-Martínez et al., 2018).

De los muchos usos de la Azolla, el más destacado es su aplicación como biofertilizante en la producción agrícola debido a su capacidad para fijar nitrógeno a altas tasas (Wagner, 1997). La *Anabaena azollae*, que vive en las cavidades de las frondas del helecho, es capaz de usar su propia energía fotosintética para fijar el nitrógeno atmosférico y producir amonio, lo que es aprovechado por la Azolla para cubrir sus propios requerimientos de nitrógeno (Naegel, 1998).

La *Azolla sp.* se caracteriza por una alta producción en biomasa, así como alto contenido de proteína y un adecuado nivel de fibra bruta (Méndez-Martínez et al., 2018). Puede fijar nitrógeno atmosférico y CO₂ para formar carbohidratos y amoníaco, respectivamente, y después de la descomposición agrega nitrógeno disponible para la absorción de los cultivos y contenido de carbono orgánico en el suelo (Katole et al., 2017).

Azolla es un suplemento alimenticio económico y eficiente para diferentes especies de animales, que contiene cantidades sustanciales de proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales que reducen significativamente el costo de alimentación. Por lo tanto, Azolla tiene futuro como ingrediente potencial en alimentos para varios tipos de animales (Katole et al., 2017). Asimismo, no se han encontrado factores antinutricionales que pudieran limitar su uso en alimentación animal, lo que la hace muy atractiva en este sentido (Ly, 2003).

Es conocido que en muchos países en vías de desarrollo con experiencias en su manejo; esta vegetación se aprovecha como alimento para animales de granja con la ventaja de que su elevada productividad genera excelentes cosechas. A su vez,

no requieren de la mayoría de las tareas agrícolas, ni la compra de insumos como semillas y fertilizantes (Méndez-Martínez et al., 2017).

El sistema Azolla-Anabaena se conoce como una "mina de oro verde". Sin embargo, sigue siendo una asociación infrautilizada con un enorme potencial de explotación (Raja et al., 2012). La Azolla se considera la más prometedora debido a la facilidad de cultivo, alta productividad y buen valor nutritivo. Para eso, se deben establecer prácticas culturales, disponibilidad estacional y requisitos de estiércol para una mayor producción (Katole et al., 2017).

La composición química de la Azolla suele variar según el lugar donde crece, el cambio de estación y el contenido de nutrientes del agua (Méndez-Martínez et al., 2018). Algunos factores ambientales como las condiciones del suelo y del agua, así como las técnicas de cultivo, influyen de una forma importante en el contenido de nutrientes de la Azolla (Naegel, 1998).

Pese a que el helecho *Azolla filiculoides* se encuentra en las lagunas del Valle de Cochabamba, no se cuenta con datos de su cultivo con fines productivos en el ámbito agropecuario, ni con información de su rendimiento ni valor nutricional en tal contexto; tampoco se ha reportado el uso del estiércol de cuy para la fertilización de su cultivo, siendo esto necesario para plantear su evaluación e inclusión en sistemas de producción de cuyes. Por tanto, este estudio consistió en evaluar el rendimiento y valor nutricional de la biomasa del helecho a partir de la fertilización de su cultivo con estiércol de cuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación se desarrolló desde inicio de febrero a fines de mayo del 2022, en la comunidad Villa Cabot, ubicada en el municipio de Arbieta, tercera sección de la provincia Esteban Arce del departamento de Cochabamba (Bolivia). Situada entre las coordenadas, Latitud Sud 17° 28' 13.62" a 17° 36' 20.45" y Longitud Oeste 65° 52' 51.42" a 66° 18' 51.42" del meridiano de Greenwich (HAMA y AMDECO 2012), se encuentra entre 2 550 a 2 800 m s.n.m. (HAMA y AMDECO, 2012; Crespo, 2003). Tiene una temperatura media de 16 °C (Crespo, 2003) de entre 12 y 18 °C, con variación entre el mes más cálido y el más frío de no más 5 °C, humedad relativa de 32 a 49 % (HAMA y AMDECO, 2012) y una precipitación anual de 450 a 500 mm (Crespo, 2003).

Metodología

Se inició con la obtención de muestras de agua y estiércol de cuy (sistema de alimentación básica con alfalfa (*Medicago sativa*) que se analizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales “Martín Cárdenas” de Universidad Mayor de San Simón (UMSS).

Para la recolección de Azolla, se utilizó un muestreo probabilístico por conglomerados, delimitando en un mapa (Google maps) de la laguna Coña Coña del municipio de Cercado doce unidades muestrales (conglomerados) basados en las zonas de crecimiento de Azolla observadas. Se seleccionaron al azar cuatro conglomerados mediante números aleatorios del programa Decision Analyst STATSTM 2.0, los que se ubicaron por GPS, para recolectar finalmente un total de 4 kg de Azolla.

Tras la obtención de la muestra se realizaron tres ensayos en los que se utilizaron estanques de poliamida (nylon o nailon). En todos los ensayos se obtuvo el peso de la Azolla con una balanza digital de precisión de ± 1 g y capacidad de 7 kg. El rendimiento de obtuvo calculando la diferencia entre la Azolla sembrada y la obtenida.

Un primer ensayo preexperimental se realizó con el fin de adaptar y producir semilla de Azolla para ensayos posteriores y cuantificar su rendimiento de biomasa con una fertilización de 2 142 g de estiércol (concentración de 15 mg/N/L, 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L). Se utilizó un estanque de 4 m² de superficie, volumen de 2 m³ y 0.5 m de profundidad. Suárez y García (1998) recomiendan la siembra en estanques con profundidad entre 0.7 y 1.0 m, aunque se han obtenido buenos resultados a 0.4 m. La cosecha se realizó cuando el cultivo llenó la superficie del estanque (ocho días), dejándose un 25 % de la cosecha como semilla, que es lo que se recomienda (Méndez-Martínez et al., 2018; Suárez y García, 1998; Sarria, 1997). Este ensayo duró 40 días.

Un segundo ensayo se efectuó para comparar fertilizaciones con estiércol de cuy, en este se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), con nueve unidades experimentales (UE) que consistieron en estanques de 2 m² de superficie, volumen de 0.8 m³ y 0.4 m de profundidad. Se emplearon tres tratamientos (T): T0, control o testigo (sin dosificación de estiércol); T1, 571 g de estiércol

(10 mg/N/L, 3.92 mg/P/L y 12.73 mg/K/L) y T2, 857 g de estiércol (15 mg/N/L, 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L). Se inició con la siembra de biomasa del ensayo anterior (300 g en cada unidad experimental) y la cosecha (dejando 25 % como semilla) se realizó cada siete días, siendo el tiempo estipulado al observar estanques con la superficie llena, evitando así que los alcancen los rezagados al cesar su crecimiento. El ensayo duró 21 días.

Finalmente, se efectuó un tercer ensayo preexperimental en tres estanques con 2 m² de superficie, volumen de 0.8 m³ y 0.4 m de profundidad, fertilizados con 857 g de estiércol e inoculados con 300 g de Azolla cada uno. Para obtener el valor nutricional, se envió al Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Veterinario de Cochabamba (LIDIVECO) una muestra de 800 g de Azolla (selección al azar del total producido) para obtener su valor nutricional. Este ensayo finalizó con una sola cosecha, que se realizó a los 14 días.

El análisis estadístico descriptivo e inferencial se realizó en los programas Rstudio 4.0.5 e InfoStat Ver. 2018E. El análisis estadístico inferencial consistió en estimaciones a partir de intervalos de confianza al 95 %, análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor y pruebas de diferencia de medias de Duncan, LSD Fisher y Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo de cosecha

La cosecha de Azolla varió de 7 a 14 días en función del ensayo realizado. Se sabe que Azolla tiene un ciclo de cosecha de 3-7 días (Méndez-Martínez et al., 2018; Ly, 2003; Suárez y García, 1998; Sarria, 1997). El primer ensayo completó la superficie para la primera cosecha en ocho días; siendo un día más en relación al segundo (7 días). Esta situación se explica debido a que la Azolla extraída de la laguna presentó alta densidad de los pelos radicales (Figura 1), lo que significa escasas plantas con abundantes raíces que incrementaron el peso, que resultó en mayor tiempo para llenar la superficie y un menor rendimiento para la primera cosecha en relación a las siguientes, pese a una mayor cantidad sembrada en gramos (Figura 2). Se menciona que el desarrollo de los pelos radicales está controlado indirectamente por el micro simbionte *Anabaena azollae*, ya que en ausencia de este hay mayor contribución de las mismas al peso fresco (Sevillano et al., 1984).



Figura 1. Pelos radicales de *Azolla filiculoides* obtenida de la laguna Coña Coña y los ensayos.

El segundo ensayo tuvo un ciclo de cosecha de 7 días hasta la tercera semana, decreciendo durante la cuarta semana, lo que provocó que los estanques fertilizados se contaminaran con algas verdes y se finalizara el mismo. Asimismo, el ensayo posterior (tercer y último) tuvo el crecimiento más lento, tardando el doble de tiempo en cubrir la superficie de los estanques (14 días). Ambos eventos pueden explicarse por la proximidad del invierno (mayo-junio); siendo que los datos indican que el municipio de Arbieto tiene una temperatura media anual de 12 y 18 °C, con una variación entre el mes más cálido y el más frío de no más de 5 °C (HAMA y AMDECO, 2012); mientras que el crecimiento y la fijación de N₂ en *A. filiculoides* son casi nulos a 10 °C, incrementándose exponencialmente hasta los 25 °C, decreciendo por encima de los 30 °C y sucumbiendo con exposiciones prolongadas a 40 °C (Sevillano et al., 1984).

Rendimiento en base húmeda y materia seca

En el primer ensayo preexperimental se obtuvo un rendimiento promedio de 87.12 g m⁻² día (IC95 % de 35.90-138.35 g m⁻² día) de *Azolla* en base húmeda (BH) en 40 días de ensayo. Encontrándose dentro de los valores reportados que van de 5.76 a 400 g m⁻² día (Méndez-Martínez et al. 2018, 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003; Suárez y García, 1998). Los rendimientos obtenidos en cada cosecha se describen en la [Figura 2](#).

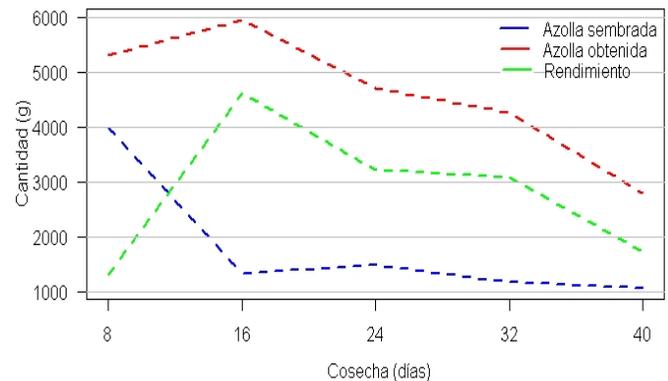


Figura 2. *Azolla* sembrada, obtenida y rendimiento total. (Fertilización con 1.07 g L⁻¹ de estiércol de cuy, equivalente a una concentración de 15 mg/N/L, 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L).

Realizando estimaciones, estos resultados representarían un promedio de 13.12 g m⁻² día (IC95 % de 5.41 – 20.83 g m⁻² día) en 6.64 % de materia seca (MS). Se han identificado valores reportados en MS que van de 1.37 a 106.80 g m⁻² día (Méndez-Martínez et al., 2018, 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003; Suárez y García, 1998). No habiendo valores que puedan compararse con exactitud, ya que estos reportes provienen de distintas condiciones regionales y formas de cultivo. Los rendimientos estimados en materia seca en cada cosecha se describen en la [Figura 3](#).

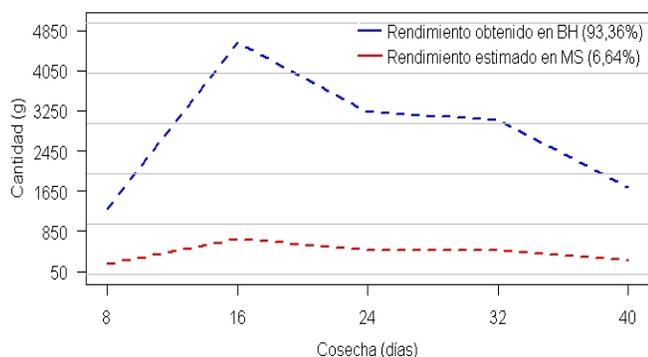


Figura 3. Estimación del rendimiento de *Azolla* en materia seca. (Fertilización con 1.07 g L^{-1} de estiércol de cuy, equivalente a una concentración de 15 mg/N/L , 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L).

En el segundo ensayo con fines comparativos (DCA) de la fertilización con estiércol de cuy; el rendimiento promedio fue de T2 = $2\ 696 \text{ g}$ (IC95 % de $1\ 730.63 - 3\ 661.37 \text{ g}$), T1 = $2\ 380 \text{ g}$ (IC95 % de $1\ 894.19 - 2\ 866.47 \text{ g}$), y T0 = $1\ 049 \text{ g}$ (IC95 % de $936.41 - 1\ 162.25 \text{ g}$) en 21 días de duración del ensayo. Estos son equivalentes a rendimientos promedio por día de T2 = $64.19 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$ (IC95 % de $41.21 - 87.17 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$), T1 = $56.67 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$ (IC95 % de $45.10 - 68.24 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$), y T0 = $24.98 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$ (IC95 % de $22.30 - 27.67 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) manifestaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos en comparación ($P=0.0008$). No obstante, las pruebas de diferencia de medias (Duncan, LSD Fisher y Tukey) determinaron que tal diferencia no aconteció entre los tratamientos con fertilización (T1 y T2), sino que se dieron con respecto al control o testigo (T0). En la Figura 4 se observan las diferencias entre tratamientos.

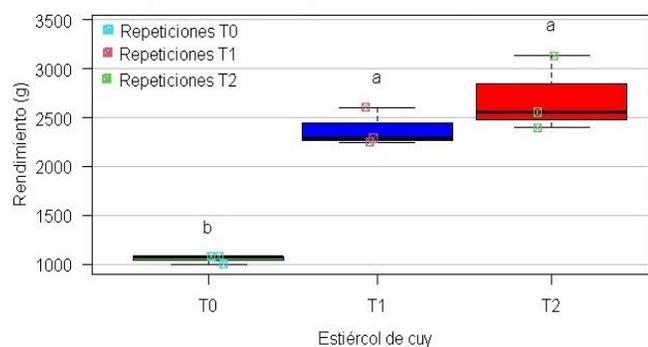


Figura 4. Diferencia de medias del rendimiento de *Azolla* por tratamiento. (Tratamientos: T0, control o testigo (sin dosificación de estiércol); T1: 0.71 g L^{-1} de estiércol (10 mg/N/L , 3.92 mg/P/L y 12.73 mg/K/L) y T2: 1.07 g L^{-1} de estiércol de cuy (15 mg/N/L , 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L). Los grupos (tratamientos) con una letra común no son significativamente diferentes (Test de Tukey, Alfa=0.05).

La duración del experimento pudo influir en el hecho de no encontrar diferencias entre los dos grupos fertilizados con estiércol. No obstante, hubo un resultado similar en otro experimento de mayor duración (6 meses) realizado por Méndez-Martínez et al. (2017) en el que se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas y tratamientos, que consistieron en aplicar: T1 (control), T2 (20 g de dos minerales combinados: 18 de Nitrato de amonio y dos de superfosfato triple), T3 y T4 (280 y 560 g de excreta porcina respectivamente); donde se halló que el rendimiento en biomasa fresca, no difiriere entre los tratamientos con fertilización (T2, T3 y T4), pero si con respecto al T1 (testigo).

El tercer y último ensayo para obtener el valor nutricional obtuvo un rendimiento promedio de $29.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}$ ($2\ 478 \text{ g}$ en 14 días), que puede explicarse por la proximidad del invierno de igual manera a la reducción del crecimiento en el segundo ensayo.

Valor nutricional

En cuanto al valor nutricional obtenido a partir del tercer ensayo, este se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Valor nutricional de *Azolla filiculoides* fertilizada con estiércol de cuy.

Ensayo realizado	Unidades	Resultado obtenido	
		Base húmeda (93.36 %)	Materia seca (6.64 %)
Proteína	%	1.40	21.08
Cenizas	%	1.33	20.03
Fibra	%	0.95	14.31
Hidratos de carbono	%	2.90	43.67
Grasas	%	0.08	1.20
Valor energético	Kcal g^{-1}	18.04	18.04

Nota: Fertilización con 1.07 g L^{-1} de estiércol de cuy, equivalente a 15 mg/N/L , 5.89 mg/P/L y 19.11 mg/K/L .

El principal factor del estiércol de cuy que pudo haber influido tanto en el rendimiento de biomasa como en el valor nutricional, fue la concentración de fósforo conseguida con la fertilización (3.92 a 5.89 mg/P/L), dado que el fósforo es a menudo el elemento más limitante para su crecimiento (Hassan y Chakrabarti, 2009). La evidencia indica que *A. filiculoides* alcanza la biomasa máxima a 20 mg/P/L (Wagner, 1997), mencionada como concentración óptima (Hassan y Chakrabarti, 2009), la cual fue muy superior a la utilizada en este estudio, aunque esta supera al nivel mínimo de crecimiento de *Azolla* de 0.03 mmol L^{-1} (Wagner, 1997); equivalente a 0.93 mg/P/L . Se sabe

que el contenido en fósforo del estiércol es relativamente bajo, comparado con las necesidades de los cultivos, lo que ocasiona un desbalance con relación al nitrógeno y al potasio, por lo que debe reforzarse con alguna fuente de este elemento o fertilizante fosforado (Iturbide, 1980; Thompson y Troeh, 1980). De este modo se puede deducir que reforzar el estiércol de cuy con fósforo podría incrementar los parámetros de rendimiento y valor nutricional obtenidos en este estudio.

El nitrógeno presente en el agua de la propiedad en que se realizó el estudio (2.6 mg/N/L) anexado al estiércol de cuy (10 a 15 mg/N/L) originó una concentración total de 12.6 a 17.6 mg/L, lo que también puede haber influido tanto en el rendimiento como en el valor nutricional obtenido en los ensayos. Cuando se analizaron niveles de nitrógeno (amonio y nitrato) de hasta 10 mg/N/L, *A. filiculoides* mostró un crecimiento máximo a 10 mg/N/L (Wagner, 1997).

En el presente estudio no disminuyó el estiércol de cuy para minimizar nitrógeno porque se disminuiría también el fósforo, que estuvo en niveles mínimos y se considera el elemento de mayor importancia para su crecimiento (Hassan y Chakrabarti, 2009). Aunque Azolla no requiere nitrógeno en el medio, el nivel de nitrógeno en el agua sí afecta su crecimiento y las tasas de fijación de nitrógeno (Wagner, 1997). Un estudio realizado por Mosquera y Calderón (2002) reportó que las plantas crecidas en un medio sin nitrógeno presentan una mayor tasa de crecimiento, así como una mayor cantidad del endosimbionte *Anabaena azollae* en comparación con plantas crecidas en un medio con nitrógeno (1 650 g L⁻¹ de nitrato de amonio o NH₄NO₃). No obstante, la cantidad de nitrógeno utilizada en el mismo fue muy superior (aproximadamente 577 mg/N/L) al utilizado en la presente investigación. Asimismo, se ha mencionado que las fuentes de nitrógeno combinado afectan negativamente las tasas de fijación de nitrógeno (Wagner, 1997).

El valor de proteína obtenido de 21.08 % se encuentra entre los valores reportados del 19 a 43 % (Méndez-Martínez et al., 2018, 2017; Katole et al., 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003), lo mismo que el contenido de cenizas de 20.03 % correspondiente a estimaciones del 12.5 – 21.12 % (Méndez-Martínez et al., 2018; Katole et al., 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003) y el contenido de fibra de 14.31 % con valores del 5 a 16.5 % (Méndez-Martínez et al., 2018; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003). En el caso de

otra planta macrófita, la lenteja de agua o *Lemna spp.*, se ha observado que el contenido de fibra y cenizas es mayor y el contenido de proteína es menor en las colonias que crecen lentamente (Leng et al., 1995). Si tal situación acontece de manera similar en el caso de Azolla; el crecimiento retardado en el último ensayo pudo haber reducido nivel de proteína e incrementado el de fibra y cenizas.

El contenido graso obtenido de 1.2 % está entre el intervalo de valores reportados de 0.78 a 6.7 % (Méndez-Martínez et al., 2018, 2017; Katole et al., 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003), el contenido de carbohidratos de 43.67 % se encuentra cercano a un valor reportado de 49.1 % (Tacon, 1989); mientras que el valor energético de 18.04 kcal g⁻¹ fue superior a los valores de energía bruta de 16.32 a 17.77 kJ g⁻¹ de MS (Méndez-Martínez et al., 2018; Ly, 2003), equivalentes a 3.9 a 4.25 kcal g⁻¹.

Por otro lado, la materia seca obtenida de 6.64 % corresponde a las estimaciones reportadas que van del 5 a 7 % (Hassan y Chakrabarti, 2009) y de esta manera, el contenido de agua tomaría un valor de 93.36 %; mencionándose que el alto contenido de agua de las macrófitas (75 - 95 %) puede ser indeseable desde el punto de vista económico (altos costos de secado) (Tacon, 1989). Sin embargo, en el caso de otra macrófita (lenteja de agua) que se desarrolla en el lago Titicaca resulta fácil y rápido eliminar el alto contenido de agua en simples bastidores de madera debido a la altitud (ILRI, 2000). El municipio de Arbieta está ubicado a una altitud considerable (2 550 a 2 800 m s.n.m.) con una humedad relativa de 32 – 49 % (HAMA y AMDECO, 2012), lo cual representa una ventaja para el secado de la Azolla.

CONCLUSIONES

El rendimiento y valor nutricional de *Azolla filiculoides* obtenido se encuentra dentro los valores reportados en otros estudios, lo cual indica que el estiércol de cuy puede utilizarse como fertilizante para su producción. No obstante, debido a que la concentración de fósforo obtenida con la dosificación de estiércol de cuy fue relativamente baja en relación a lo recomendado para un crecimiento máximo de Azolla; reforzar el mismo con otras fuentes de este elemento podría incrementar los parámetros de rendimiento y valor nutricional obtenidos en este estudio.

Pese a que los resultados obtenidos en este estudio dan indicios de que la Azolla puede producirse en el

municipio de Arbieta-Cochabamba durante los primeros meses del año; es necesario efectuar más investigaciones. Por otro lado, debido al decrecimiento que se dio tras cada ensayo, es posible que su producción durante el invierno sea inviable, aunque de igual modo se requieren más evaluaciones, estas pueden incluir su producción en invernaderos o utilizar los mismos para la conservación de la semilla e iniciar su cultivo desde inicio de primavera (mes de septiembre) y evaluar su rendimiento en ensayos más prolongados, utilizando fertilización continua.

El valor nutricional también indica que la *Azolla* fertilizada con estiércol de cuy puede utilizarse como insumo para alimentación animal, principalmente por su contenido de proteína, por lo que el presente estudio puede servir de base para su evaluación en alimentación de cuyes y otras especies. Asimismo, aunque la *Azolla* obtenida tiene un alto contenido de humedad, esta puede no representar un problema, dado que el municipio de Arbieta está ubicado a una altitud considerable, lo cual representaría una ventaja para el secado de la *Azolla*.

BIBLIOGRAFÍA

- Avilés, DF; Martínez, AM; Landi, V; Delgado, J V. 2014. The guinea pig (*Cavia porcellus*): An Andean resource of interest as an agricultural food source (en línea). *Animal Genetic Resources* 55: 87–91. DOI: <https://doi.org/10.1017/S2078633614000368>.
- Chauca de Zaldivar, L. 1997. Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). La Molina, Perú, FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
- Crespo, W. 2003. Avances en la aplicación práctica del SIRT en temas de planificación agrícola y manejo de desastres naturales (en línea). In Taller Regional Uso de Sistemas de Información de Recursos de Tierras (SIRT) como Herramienta de Apoyo a la Toma de Decisiones en el Desarrollo de la Agricultura y en el Manejo de los Desastres Naturales en América Latina y El Caribe. Santiago, Chile, s.e. Disponible en <https://www.bivica.org/files/tierras-recursos-sistemas.pdf>.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1981). China: Propagación de la azolla y tecnología del biogás a pequeña escala (en línea). Roma, Italia, s.e. Disponible en <https://www.fao.org/3/ar796s/ar796s.pdf>.
- HAMA, (Honorable Alcaldía del Gobierno Autónomo Municipal de Arbieta); AMDECO, (Asociación de Municipios de Cochabamba). (2012). Ajuste Plan de Desarrollo Municipal de Arbieta 2005-2009 (en línea). Cochabamba, Bolivia, s.e. Disponible en http://vpc.planificacion.gob.bo/uploads/PDM_S/03_COCHABAMBA/030403_Arbieta.pdf.
- Hassan, MR; Chakrabarti, R. 2009. Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture - A review (en línea). Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 17–28 p. Disponible en <https://www.fao.org/3/i1141e/i1141e.pdf>.
- ILRI, (Instituto internacional de investigaciones pecuarias). (2000). ILRI 1999: Hacer que la revolución ganadera beneficie a los pobres. Nairobi, Kenya, s.e.
- Iturbide, Á. 1980. Apuntes Sobre Pasturas Tropicales (en línea). Santo Domingo, República Dominicana, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/16218/CD21058063e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Katole, SB; Lende, SR; Patil, SS. 2017. A review on potential livestock feed: *Azolla* (en línea). *Livestock Research International* 5(1):1–9. Disponible en https://web.archive.org/web/20180411141009id_/http://jakra.com/journal/pdf/15-IriArticle_1.pdf.
- Leng, RA; Stambolie, JH; Bell, R. 1995. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 7(1). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>.
- Ly, J. 2003. Macrofitas Acuáticas Flotantes En Sistemas Integrados De Producción Animal (en línea). In Curso de alimentación no convencional para monogástricos en el trópico. Guanare, Venezuela, s.e. p. 89–111. Disponible en http://www.avpa.ula.ve/eventos/viii_encuentro_monogasticos/curso_alimentacion_no_convencional/conferencia-8.pdf.
- Méndez-Martínez, Y; Pérez-Tamames, Y; Pérez, JJR; Jimenez, VD. 2018. *Azolla* sp., UN ALIMENTO DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA LA ACUICULTURA (en línea). *Biocencia* 20(1):32–40. DOI: <https://doi.org/10.18633/biocencia.v20i1.527>.
- Méndez-Martínez, Y; Torres-Navarrete, YG; Pérez-Tamames, Y; Reyes-Pérez, JJ; Ramírez de la Ribera, JL; Batista Casaco, AR; Arias-Contrera, N. 2017. Efecto de la fertilización en el rendimiento de *Azolla filiculoides*, un alimento para acuicultura (en línea). *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 18(12):1–8. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63654640019>.
- Mosquera Lenti, J; Calderón Rodríguez, A. 2002. Evaluación de parámetros bioquímicos y morfogenéticos en la simbiosis *Azolla Filiculoides Anabaena Azollae* como respuesta a la interacción de la calidad de luz y dos niveles de nitrógeno (en línea). *Ecología aplicada* 1(1):89–94. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34100114>.
- Naegel, LCA. 1998. Evaluation of three *Azolla* varieties as a possible feed ingredient for tilapias (en línea). *Animal Research and Development* 48:31–42. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Ludwig-Naegel/publication/335907380_Naegel-Azolla/links/5d82d62f458515cbd1984500/Naegel-Azolla.pdf.

- Raja, W; Rathaur, P; John, SA; Ramteke, PW. 2012. Azolla-Anabaena Association and Its Significance In Supportable Agriculture (en línea). Hacettepe Journal of Biology and Chemistry 40(1):1–6. Disponible en <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1727650>.
- Sarria, P. 1997. Sistemas integrados de producción: Alternativa para los pequeños productores de las montañas tropicales. s.l., s.e.
- Sevillano, F; Subramaniam, P; Rodríguez-Barrueco, C. 1984. La asociación simbiótica fijadora de nitrógeno atmosférico. Azolla - Anabaena. s.l., Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca-León, Centro de Edafología y Biología Aplicada del C.S.I. p. 233–252.
- Suárez, J; García, EG. 1998. Las plantas acuáticas en un contexto de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. I. Azolla spp (en línea). Pastos y Forrajes 21(1):1–13. Disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01190067/document>.
- Tacon, A. 1989. NUTRICION Y ALIMENTACION DE PECES Y CAMARONES CULTIVADOS. MANUAL DE CAPACITACIÓN. (en línea). Disponible en <https://www.fao.org/3/ab492s/AB492S01.htm>.
- Thompson, LM; Troeh, FR. 1980. Los suelos y su fertilidad. Cuarta. Barcelona, España, Reverté.
- Wagner, GM. 1997. Azolla: A Review of Its Biology and Utilization (en línea). The Botanical Review 63(1):1–26. Disponible en [http://www.gemenskapspraktik.se/projects/theazollacookingandcultivationproject/research/Azolla, a review of its biology and utilization.pdf](http://www.gemenskapspraktik.se/projects/theazollacookingandcultivationproject/research/Azolla,a%20review%20of%20its%20biology%20and%20utilization.pdf).

Artículo recibido en: 31 de mayo 2022

Aceptado en: 14 de agosto 2022