

Azolla sp. como sustituto de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz de subsistencia.

Azolla sp. as a substitute for nitrogen fertilizers in the rice crop of subsistence.

Adelaida Gisela González-Salazar¹  & Luis Alberto Barahona-Amores² 

¹ Escuela de Ciencias Agrarias y Ambientales, facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad Santa María la Antigua (USMA), Panamá

² Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá

*Autor por correspondencia: Adelaida González, agonzalezs@usma.ac.pa

Recibido: 30 de abril de 2022

Aceptado: 12 de diciembre de 2022

Resumen

*En la Granja Escuela Casiciaco Haren Alde, ubicada en el distrito de Las Minas, se realizó esta investigación cuyo objetivo principal fue establecer la capacidad de *Azolla pinnata* como sustituto de la fertilización nitrogenada amoniacal, sin reducción en el rendimiento de cosecha en el cultivo de arroz de subsistencia. Consistió en dos bloques de seis tratamientos y tres repeticiones en cada bloque. Cada bloque representa una fecha de siembra con 15 días de diferencia. Cada unidad experimental consistía en parcelas de 2x5 metros, separados un metro. Se sembró a chuzo, a una distancia de 40 cm entre surcos y 15 cm entre planta; colocando 8 semillas de arroz. Se analizaron 6 tratamientos, con diferentes combinaciones de Urea y *Azolla pinnata* como fuente de fertilización nitrogenada para el cultivo. Se realizaron análisis físicoquímicos al terreno y a la *Azolla* a utilizar, para determinar la proporción a aplicar en cada unidad experimental. Las proporciones de Urea y *Azolla* a utilizar, disminuían un 25 % del tratamiento anterior. Los tratamientos se aplicaron, a los 75 días de siembra (dds) en el primer bloque y a los 60 dds en el segundo bloque. Entre los tratamientos aplicados, (salvo el caso del testigo absoluto del ensayo), no se observó diferencia significativa en los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento de cosecha.*

*Estos análisis nos llevan a concluir que, en condiciones parecidas a las presentadas en este ensayo, *Azolla* puede ser recomendada para aplicación en parcelas de arroz de subsistencia, en especial la variedad criolla conocida como Picaporte. Así mismo se estableció que los costos de fertilización de los tratamientos con *Azolla* se reducen considerablemente a partir del segundo año de su aplicación, una vez que los costos de construcción de la laguna de siembra se manejan en el primer año, mientras que los costos de fertilizantes químicos aumentan cada año.*

*Palabras clave: *Azolla*, arroz de subsistencia, fertilización nitrogenada, rendimiento.*

Abstract

*In the Casiciaco Haren Alde Farm School, located in the district of Las Minas, this research was carried out whose main objective was to establish the capacity of *Azolla pinnata* as a substitute for ammoniacal nitrogen fertilization, without reduction in crop yield in subsistence rice cultivation. It consisted of two blocks of six treatments and three repetitions in each block. Each block represents a planting date 15 days apart. Each experimental unit consisted of plots of 2x5 meters, separated by one meter. It was sown, at a distance of 40 cm between furrows and 15 cm between plant, placing 8 rice seeds. 6 treatments were analyzed, with different*

combinations of Urea and *Azolla pinnata* as a source of nitrogen fertilization for the crop. Physical-chemical analyses were performed on the field and the *Azolla* to be used, to determine the proportion to be applied in each experimental unit. The proportions of Urea and *Azolla* to be used, decreased by 25% of the previous treatment. The treatments were applied at 75 days of planting (dds) in the first block and at 60 dds in the second block. Among the treatments applied, (except in the case of the absolute control of the trial), no significant difference was observed in the results obtained in terms of harvest yield.

These results lead us to conclude that, under conditions similar to those presented in this trial, *Azolla* can be recommended for application in subsistence rice plots, especially the non-commercial variety known as *Picaporte*. It was, also established that the fertilization costs of *Azolla* treatments are considerably reduced from the second year of its application, once the construction costs of the planting lagoon are managed in the first year, while the costs of chemical fertilizers increase each year.

Keywords: *Azolla*, subsistence rice, nitrogen fertilization, yield

Introducción

El nitrógeno es el elemento de mayor requerimiento por los cultivos, y que naturalmente está presente en el complejo de materia orgánica del suelo. Y como depende de la tasa de mineralización de la materia orgánica, que depende de factores físicos y químicos para su degradación (temperatura, humedad, microorganismos del suelo), en los suelos tropicales tiende a ser mínima o inexistente, es por medio de fertilizantes químicos que este elemento es asimilado en mayor cuantía por los cultivos.

A pesar de las indudables ventajas del uso de fertilizantes amoniacales, su poder de contaminación a los suelos es muy alto por el proceso de nitrificación de los fertilizantes nitrogenados que contienen amonio, que en su transformación a nitratos, liberan iones H^+ que desplazan otros iones de los sitios de intercambio, liberándolos a la solución del suelo, perdiéndose por lixiviación si no son absorbidos por las raíces (Pierre, 1928).

La urea, tiene ventajas obvias (alta concentración de nitrógeno por peso total, alta solubilidad del compuesto inicial con una rápida absorción por el cultivo) y desventajas no tan conocidas (pérdida por evaporación y lixiviación, acidificación del suelo) en su uso agrícola (Fernández 1984) que, a la larga, disminuyen la productividad de los cultivos. Una de las metodologías para proteger el suelo es el uso de enmiendas calizas para mantener el pH a niveles económicamente rentables. Pero el campesino de subsistencia no conoce esta práctica. Para ellos la única receta es el abono químico 12-24-12, que aporta compuestos con los elementos mayores nitrógeno, fósforo y potasio en los porcentajes indicados y la urea, que está constituida por compuestos nitrogenados en porcentajes de 42 o 46%.

Otro punto no atendido en la aplicación de fertilizantes es que, un exceso del mismo, por encima de 110 kg/ha, tiende a reducir la fertilidad de las espigas y la formación del grano (Rojas y otros, 1983)

La relación de materia orgánica y nitrógeno en el suelo es una sola. La carencia o deficiencia de la primera implica falta de la segunda. Por tanto, el abuso de fertilizantes químicos que tienden a acidificar el suelo hace cada vez más crítica la situación (Montaño 2005); contaminando no solo el suelo, sino también las aguas subterráneas y superficiales, por medio de los procesos de percolación y escorrentía, generando situaciones de riesgo para la flora y fauna de cuerpos acuáticos por eutrofización y aguas de uso humano cargadas de sales. (Claros, 2012). Por esta razón, se establece que causa efectos perjudiciales en cuerpos de agua, que pueden llegar a causar efectos negativos en la salud humana (Jesús Zea, et.al. 2020).

La *Azolla sp.*, es utilizada en Asia desde hace milenios como fertilizante de arroz en inundación, ya que mantiene una simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae* que fija nitrógeno en sus hojas a razón de 500 kg por hectárea al año (Montaño 2005).

La simbiosis *Azolla-Anabaena* fija el nitrógeno por un proceso anaeróbico que se realiza en una estructura especializada llamada heterocisto, estructuras especializadas fijadoras de nitrógenos que se encuentran dentro de la estructura de la *Anabaena* (Coronel 2011).

A pesar de la relación de simbiosis fijadora de nitrógeno, la *Azolla sp.* requiere que el agua en donde se cultive, sea enriquecida con nutrientes en solución, en especial fósforo, estableciéndose como una mezcla adecuada para su crecimiento la combinación de agua potable o con bajos niveles de nutrientes combinada en relación 1:1 con el agua del estanque en donde haya crecido naturalmente la *Azolla* (Moreno, M et.al. 2018)

En América, la *Azolla* ha sido utilizada no solo como fertilizante, sino también como alimento para diversas especies y fitoremediador en aguas contaminadas, tanto agrícolas como humanas.

En Panamá se introdujo *Azolla pinnata* por medio de colaboradores de JICA, (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional), que la llevaron al INA (Instituto Nacional de Agricultura), en Divisa, Herrera. Un productor la llevó a Las Minas, donde la usó como alimento de especies de interés humano: patos, peces, cerdos, gallinas, ovejas, cabras. Todos empíricamente, no hay evidencia de investigaciones formales en el tema. Las principales variedades en el mundo son: *Azolla pinnata*, *Azolla caroliliana*, *Azolla filiculoides*, *Azolla microphyla*, *Azolla nilotica*, *Azolla japonica*

Tabla 1 Taxonomía *Azolla pinnata* – *Anabaena azollae*

Taxonomía	Helecho	Cianobacteria
División	Pteridophyta	Cyanophyta
Clase	Filicopsida	Cyanophyceae
Orden	Salviniales	Nostocales
Familia	Azollaceae	Nostocaceae
Genero	Azolla	Anabaena
Especie	pinnata	Azollae
N.C.	<i>Azolla pinnata</i>	<i>Anabaena azollae</i>

Fuente: Montaña, 2010.



Figura 1. *Azolla pinnata* en tiempo para cosechar



Figura 2. Imagen microscópica de *Anabaena azollae*. Se presenta la morfología filamentosa típica y dos heterocistos. Fuente: Jhon Walsh. Science Photo Library

Método

Objetivos

Determinar la capacidad de *Azolla pinnata*, como un sustituto de la fertilización nitrogenada amoniacal sin afectar el rendimiento de las cosechas.

Población y Muestra

El ensayo se desarrolló en GECHA (Granja Escuela Casiciaco Haren Alde), ubicada en Las Minas, distrito de Las Minas, provincia de Herrera, propiedad de la Universidad Santa María la Antigua, en el periodo comprendido entre septiembre 2016 a febrero 2017; desarrollándolo en la parcela N° 4, con una extensión aproximada de 6000 m², dedicada anteriormente al cultivo de maíz, guandú y yuca. Consistió en la siembra a chuzo de arroz de la variedad conocida como Picaporte.

La variedad de arroz Picaporte, tiene características como: altura media de 138 cm, y un rendimiento por hectárea de 3636 kilogramos de grano seco 80 quintales/ha. (Quiroz,2015).

Se realizaron análisis químicos, a la parcela y a la *Azolla pinnata* a utilizar, siguiendo los parámetros establecidos en el laboratorio de suelos de IDIAP (Instituto de Innovaciones Agropecuarias de Panamá), localizado en Divisa. Los resultados de los análisis se presentan en las tablas 2 y 3 a continuación.

Tabla 2. Resultados de análisis de muestra de suelo de la parcela 4 de GECHA

Textura	Color	pH	P mg/l	K Meq/ 100 g suelo	Ca Meq/ 100 g suelo	Mg Meq/ 100 g suelo	MO %	Mn mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l
A-L-Ar*											
68-14-18											
FRA-ARE	Pardo Amarillento	4.7	7	56.7	3	0.7	3.78	144.9	12.43	4.27	4.77

Fuente: Análisis de laboratorio de suelos, IDIAP, Divisa. 2017 *A= Arena, L= Limo, Ar= Arcilla

Tabla 3. Resultado de análisis de tejido foliar muestra de *Azolla pinnata*

N (%)	pH	P mg/l	K Meq/100 g suelo	Ca Meq/100 g suelo	Mg Meq/100 g suelo	M.O. %	Mn mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	C %
2.84	6.3	0.71	3.07	0.85	0.68	24.1	900	Tr	Tr	69	13.9

Fuente: Análisis de laboratorio de suelos, IDIAP, Divisa. 2017

Cada unidad experimental media 2x5 metros con una separación de 1 metro entre unidades experimentales. El diseño experimental utilizado consistía en bloques completos al azar, con 6 tratamientos y 3 repeticiones, en dos fechas de siembra. En cada repetición, los tratamientos se identificaron con cintas de colores diferentes

Se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + F_k + TF_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

en donde:

Y_{ijk} = valor del carácter estudiado

μ = media general

β_i = efecto del bloque (i=3)

T_j = efecto del tratamiento (j=6)

F_k = efecto de fecha (k=2)

TF_{jk} = efecto de interacción de tratamiento-fecha

ε_{ijk} = error experimental

Los productores de subsistencia siembran sus cultivos por golpe de siembra, no en chorro o al voleo, los métodos utilizados a nivel comercial o de investigación. En cada unidad experimental, se sembraron ocho semillas de arroz Picaporte por golpe, a 15 cm entre golpe y 40 cm entre hilera, con una densidad de siembra de alrededor de 132 semillas por metro cuadrado (m²).

La fertilización inicial se mantuvo como la han establecido los campesinos: 28.5 gramos de abono 12-24-12 dos semanas después de la siembra al lado de cada golpe de siembra. Los tratamientos se aplicaron a los 75 días después de siembra (dds) en la primera fecha de siembra y a los 60 días en la segunda fecha. De acuerdo a las distribuciones de peso de cada nutriente y su aporte de nitrógeno, los tratamientos se establecieron como indica la tabla 4.

Tabla 4. Peso de tratamiento a aplicar por parcela de cultivo

Tratamiento	Porcentaje <i>Azolla-Urea</i>	<i>Azolla sp.</i>	Urea
1	0-0	0.00	0.00
2	0-100	0	0.182 kg
3	25-75	0.675 kg	0.135 kg
4	50-50	1.35 kg	0.091 kg
5	75-25	2.025 kg	0.0455 kg
6	100-0	2.7 kg	0

Procedimiento de recogida y análisis de datos

Se cosechó la parcela efectiva de cada tratamiento y se determinó el porcentaje de peso de grano al 14% de humedad. De esa cosecha se tomó una muestra de 500 gramos para la determinación del porcentaje de granos enteros en molino.

Para determinar si existe diferencia en la eficiencia de los tratamientos, se realizó una estadística descriptiva a los parámetros a evaluar, análisis de varianza y comparación de medias utilizando Diferencia Mínima Significativa, el software utilizado fue InfoStat, versión profesional.

Resultados

Tabla 5. ANOVA Rendimiento de cosecha (toneladas)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.44	15	0.76	4.63	0.0009
Tratamiento	4.73	5	0.95	5.74	0.0019**
Fecha>Rep	6.10	4	1.53	9.26	0.0002**
Fecha	0.38	1	0.38	2.31	0.1444 ns
Trat*Fecha	0.22	5	0.04	0.27	0.9227 ns
Error		3.30	20	0.16	
Total		14.74	35		

CV 10.6 % r^2 0.78 ** diferencia altamente significativa al 5% de probabilidad. ns no hay diferencia significativa.

Los resultados obtenidos presentan diferencias significativas al 5% de probabilidad, en el rendimiento de cosecha entre los tratamientos aplicados y en las repeticiones de cada uno de acuerdo con la fecha de siembra con un coeficiente de variación de 10.6. No hay diferencia significativa en los resultados de las fechas de siembra ni en la relación tratamiento/fecha de siembra. Al acercarse el r^2 a 1, el ajuste a la variable del modelo utilizado es mayor.

Tabla 6. Comparación de medias. Rendimiento de cosecha (toneladas)

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	4.22	A
6	100% Azolla	4.02	A
2	100% Urea	3.97	A
3	75% Urea-25% Azolla	3.88	A
4	50% Urea-50% Azolla	3.83	A
1	Testigo	3.07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nos se aprecia diferencia significativa en las medias obtenidas por tratamiento, solo el testigo reflejó diferencia significativa en los resultados finales. Vale indicar que los dos tratamientos de mayor valor sobrepasaron el promedio establecido para la variedad cultivada (Picaporte) que es de 4 toneladas (Quiroz, 2015). Todos los tratamientos utilizados generaron medias de rendimiento bastante cercanas al promedio. Sólo el testigo estuvo por debajo del rendimiento esperado. Este resultado coincide con los resultados obtenidos por Castro (2002) en cultivo de arroz, Dungga (2020) en cultivo de pimentón y Lestary (2020) en lechuga en los que se hicieron aplicaciones de Azolla sp. como fertilizante.

Tabla 7. ANOVA Porcentaje de granos enteros

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	618.12	15	41.21	1.41	0.2353
Tratamiento	131.95	5	26.39	0.90	0.5003 NS
Fecha>Rep	348.77	4	87.19	2.97	0.0445 NS
Fecha	45.79	1	45.79	1.56	0.2259 NS
Trat*Fecha	91.62	5	18.32	0.62	0.6827 NS
Error	586.50	20	29.33		
Total	1204.62	35			

CV 9.3 % r^2 0.51 NS no hay diferencia entre los tratamientos

No se registran diferencias significativas en el porcentaje de granos enteros entre los tratamientos aplicados; en las fechas de aplicación de los mismos: relación fecha de siembra/tratamiento. El coeficiente de variable obtenido cercano al 10 por ciento, establece la cercanía de los resultados totales entre los tratamientos.

Tabla N° 8. Comparación de medias. Porcentaje de granos enteros

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	60.48	A
6	100% Azolla	59.45	A
3	75% Urea-25% Azolla	58.72	A
4	50% Urea-50% Azolla	58.25	A
2	100% Urea	58.17	A
1	testigo	54.33	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Las medias no muestran diferencia significativa en sus resultados, pero es importante acatar que las

normas COPANIT en calidad de grano de consumo humano el mínimo de granos enteros para arroz nacional comercial es de 53 %; mientras que el grano importado el mínimo es de 55% (Calderón, 2018). Los cinco tratamientos con fertilización (sobre todo con mayor contenido de *Azolla sp.*) mostraron los mejores porcentajes. Ha de tomarse en cuenta que la variedad estudiada es considerada criolla y el rendimiento de granos enteros no es una variable medible constantemente en ensayos, por lo que estos resultados son de sumo interés en la recuperación de variedades criollas de buena calidad.

Discusión y conclusiones

Los resultados analizados demuestran que estadísticamente no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Ello permite aseverar que los tratamientos aplicados tuvieron resultados similares, por lo que se considera que, la *Azolla sp.* puede ser recomendada como sustituto de la urea en el cultivo de arroz de subsistencia.

La calidad molinera de la variedad utilizada no se afectó con los diferentes tratamientos aplicados, salvo el testigo absolutos. Los resultados obtenidos en rendimiento de final se asemejan a los obtenidos en otras investigaciones con diferentes cultivos.

Las fechas de siembra de arroz para esta investigación estuvieron fuera de las fechas recomendadas para obtener los mejores rendimientos (principios del mes de agosto), pero el periodo lluvioso del 2017 se alargó hasta el mes de diciembre, permitiendo que el suelo mantuviese la humedad adecuada para el desarrollo del cultivo. Los resultados de rendimiento se mantienen dentro de los esperados de la media de la variedad utilizada en el ensayo, incluyendo rendimiento y altura media de la planta.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los colaboradores de Granja Escuela Casiciaco Haren Alde (USMA), que colaboraron en las diferentes actividades de campo de este ensayo. A nuestro director de investigación, doctor Francisco Mora, por su paciencia, inventiva entusiasmo y colaboración en acompañarme en un camino poco transitado en nuestro Panamá Al doctor Mariano Montaña Armijos, el padre de *Azolla sp* en América Latina, que, desde la distancia y cercanía del correo electrónico, nos brindó todo su conocimiento y sabiduría.

Referencias

- CALDERÓN, D. 2019. Promedio de rendimiento total en molino de arroz comercial. Conversación personal. Panamá.
- CLAROS, J. 2012. Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación 2101 vía nitritos para el tratamiento biológico de corrientes de aguas residuales con alta carga de nitrógeno amoniacal. Editora Universidad Politécnica de Valencia. España.
- CORONEL, J. 2011, estudio de las especies químicas amonio, nitrito y nitrato en el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno del sistema Anabaena-Azolla, mediante técnicas colorimétricas y su aprovechamiento. Ecuador.
- FERNÁNDEZ, M. 1984. La Urea, fertilizante nitrogenado. IPA La Platina. Documento de internet, consultado el 22 de enero de 2019 en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR02557.pdf>.
- JESÚS ZEA, D, et.al. 2020. Estudio de pre-factibilidad para la elaboración de fertilizantes orgánicos a base de Azolla. Universidad San Ignacio de Loyola. Perú. [Estudio de pre-factibilidad para la elaboración de fertilizantes orgánicos a base de azolla \(usil.edu.pe\)](#)
- LESTARI, S.U; E. MUTRYAMI, 2020. Using POC Azolla microphylla ald urea fertilizer: Letucce plant (Lactuca sativa L) Context. IOP Conference series: Earth Environ. Sci 469. 012115.
- MONTAÑO, M. 2005. Estudio de la aplicación de Azolla-Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el litoral ecuatoriano. Revista Tecnológica ESPOL, vol 18, N1 147-151. Ecuador
- MORENO, M; M. ORTEGA ; N. GONZÁLEZ 2018. Evaluación de medios de cultivo del helecho Azolla filiculoides Como biofertilizante potencial para el cultivo de arroz (Oryza sativa). Séptimo congreso de investigación en ciencias básicas y agronómicas. Colegio de posgraduados Chapingo. México <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/09/6-Mem-Mesa-3-congreso-2018.pdf#page=45>

- PIERRE, W. H. 1928. Nitrogen fertilizers and soil acidity: I Effects of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. *Journal of the American Society of Agronomy*. 20: 254- 269 USA .
- QUIROS, E.2015. Guia técnica de producción de arroz de buena calidad. IDIAP, Panamá.
- ROJAS, C; R, ALVARADO; C. BELMAR. 1983, fertilización nitrogenada en arroz. Efecto sobre algunos parámetros agronómicos del cultivo. Estación experimental Quilamapu. *Revista Agricultura Técnica*. 43 (4). Chile.