

Estudio de la aplicación de *Azolla Anabaena* como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano

Montaño Armijos Mariano, Ing. Quím., MAE, Ph. D. (Candidate)
Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
km 30.5 Vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
mmontano@espol.edu.ec

Resumen

El proyecto "Aplicación de la simbiosis diazotrófica entre Azolla y Anabaena como abono verde para el cultivo del arroz en el Litoral Ecuatoriano (IG-CV-053)" fue auspiciado por el PROMSA/BIRF-MAG-BID y ejecutado por la ESPOL-Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales. Su objetivo central consistió en establecer el potencial fertilizante de la Azolla en el cultivo de arroz.

*Se revisó literatura técnica especializada. Se recorrió la Costa en busca de afloramientos de Azolla procediéndose a muestrear. En el laboratorio se estudió su taxonomía, encontrándose que la especie nativa corresponde a *Azolla caroliniana* Willd. Las azollas fueron inicialmente adaptadas al laboratorio; una vez que crecieron fueron pasadas a un invernadero para continuar estudiando sus requisitos de crecimiento; a continuación se estudió su desarrollo en el campo bajo distintas condiciones de fertilización. El rendimiento de la Azolla fresca fue de 20 t/ha/mes lo que equivale a 600 kg de nitrógeno por hectárea por año.*

La capacidad de fertilización de la Azolla se cifra en el rendimiento promedio de 7.42 t/ha de arroz, que se obtuvo en el cultivo de invierno, dosificando 40 t/ha de Azolla como fertilizante. Producir Azolla es negocio rentable que da una Tasa Interna de Retorno de 50.60 %.

Palabras Claves: *Azolla. Anabaena. Nitrógeno. Amonio. Nitratos. Fósforo. Potasio. Germinación. Parcelas divididas. Panca.*

Abstract

The project "Application of the diazotrophic symbiosis between Azolla and Anabaena as green manure for the culture of rice in the Ecuadorian Coast (IG-CV-053)" was supported by PROMSA/BIRF-MAG-BID and executed by ESPOL-Institute of Chemical and Environmental Sciences. Its main objective was to establish the fertilizing potential of the Azolla in the rice culture.

*Specialized technical literature was reviewed. The Coast was crossed to search outcrops of Azolla in order to sampling it. Studying its taxonomy in the laboratory, it was found that the native species corresponds to *Azolla caroliniana* Willd. Initially Azollas were adapted to the laboratory; once they grew they were happened to a conservatory to continue studying their requirements of growth; next, development in the field under different conditions of fertilization was studied. The yield of fresh Azolla was 20 t/ha/m what is equivalent to 600 kg of nitrogen by hectare per year.*

The capacity of fertilization of Azolla represents the yield average of 7.42 t/ha of rice, that was obtained in the winter culture, dosing 40 t/ha of fresh Azolla as fertilizer. The business to produce Azolla is profitable and gives an Internal Rate of Return of 50.6 %.

1. Introducción

Uno de los elementos clave de los sistemas agrícola, económico y social del Ecuador es el cultivo de arroz, cuya superficie alcanza el primer puesto, siguiendo las de cacao, banano y maíz [1]. La importancia del arroz en el Ecuador se cifra en lo siguiente: una superficie sembrada en incremento hasta la dimensión actual de alrededor de 400 000 ha, que le ubica en el primer lugar dentro de los países andinos [2]; un consumo de arroz diario por persona de 115 g [3]; una producción de 660 000 t [4]; un índice de empleo del 22% de la población económicamente activa, involucrando alrededor de 140 000 familias [5].

En la agricultura de arroz en el Ecuador uno de los problemas más críticos es la deficiencia del nitrógeno y de materia orgánica de los suelos de cultivo [2]. El uso generalizado de fertilizantes artificiales tipo urea, como fuente de nitrógeno, si bien está sosteniendo la labor agrícola arroceras, por otro lado provoca problemas medioambientales, incluyendo apelmazamiento del terreno, cambios de la actividad microbiológica y química del suelo y contaminación del agua. Esta situación se torna todavía más crítica cuando las preferencias del mercado apuntan actualmente a los productos agrícolas orgánicos y naturales.

El nitrógeno (N) es elemento capital de la química de las plantas, que lo requieren normalmente en gran cantidad, por lo que con frecuencia este elemento resulta factor limitante de su crecimiento. Irónicamente las plantas no pueden utilizar el abundante nitrógeno diatómico (N_2) del aire, sino que lo asimilan en la forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+) [6]. En vista de que las plantas toman del suelo el nitrógeno necesario para su crecimiento, la restitución de este elemento al suelo es un asunto vital para la agricultura.

Una alternativa original del abono nitrogenado químico es la fijación biológica de nitrógeno, que realizan ciertas bacterias y algas. Estos microorganismos poseen un complejo enzimático que se encarga de convertir el nitrógeno elemental en amonio que es directamente aprovechable para las plantas, o que es oxidado a nitratos por bacterias nitrificantes presentes en los suelos [7].

La asociación simbiótica entre *Azolla* sp. y la cianobacteria filamentosa *Anabaena* sp. por su alta capacidad fijadora de nitrógeno ha adquirido en los últimos tiempos mucha importancia para la agricultura, especialmente para el cultivo de arroz [8] [9] [10].

Azolla es un helecho acuático que alberga en las cavidades en la base de la fronda una cianobacteria del género *Anabaena*. Ecológicamente la *Azolla* es

responsable del aumento sustancial de nitrógeno del medio ambiente debido a que durante su vida fija nitrógeno y cuando muere este nitrógeno fijado puede ser utilizado por las plantas en su alrededor. La *Azolla Anabaena* tiene un alto potencial como abono verde en el cultivo de arroz en zonas tropicales, fijando aproximadamente 600 kg de nitrógeno por hectárea por año en condiciones óptimas de temperatura, luz y composición química del sustrato [11] [12] [13] [14].

En la actualidad la *Azolla* se cultiva comercialmente en China y Vietnam, en donde se ha utilizado por centurias como abono verde en sembríos de arroz por inundación. En China su uso se remonta al menos a la época de la dinastía Ming mientras que los registros de Vietnam datan del siglo 11 [15]. En el Ecuador, algunos trabajos preliminares establecen la presencia de *Azolla* nativa en la Costa y sus bondades como abono verde sobre los campos de arroz [16] [17] [18].

Con estas razones se consideró necesario estudiar de manera sistemática la productividad del arroz como resultado de la aplicación de *Azolla Anabaena*.

2. Materiales y métodos

El experimento fue desarrollado en la Cooperativa San Gabriel del Cantón Daule. En este sitio se instalaron piscinas para la propagación del helecho *Azolla* así como las parcelas de cultivo del arroz.

Se programaron dos siembras de arroz, una en invierno (enero-junio) y otra en verano (julio-diciembre) del 2003, utilizando las variedades INIAP 12 e INIAP 14. La semilla INIAP 14 fue proporcionada por la Cooperativa San Gabriel mientras que la INIAP 12, certificada, fue adquirida en la Estación Experimental INIAP-Bolicho

Pruebas de germinación del arroz, para verificar y asegurar la calidad de las semillas, se realizaron en el laboratorio de Servicios Generales del ICQA, consistiendo básicamente en: (a) Escogimiento de 100 semillas al azar de las dos variedades; (b) Adecuación de las semillas a condiciones controladas de luz, humedad, temperatura; (c) Evaluación de la germinación.

Un semillero fue establecido en un dique de un arrozal de San Gabriel dejando desarrollarlo por 28 días y transplantar luego los lechuguines a las parcelas experimentales. Previo a la siembra se preparó, limpió y fumigó el terreno para eliminar malezas que puedan afectar la germinación de la semilla.

Se diseñaron parcelas de arroz de 4 m² de superficie en donde desarrollar el experimento de siembra de las dos variedades de arroz con 4 matrices fertilizantes y 4 réplicas para cada prueba. La disposición de matrices

fertilizantes obedeció a un diseño experimental de “parcelas divididas” estrictamente al azar.

El suelo de las parcelas fue fangueado incorporando la panca de la siembra anterior y utilizando EM (microorganismos eficientes) para que ayuden a degradar el material vegetal.

Con los cálculos de demanda de 40 g de nitrógeno, 400 g de fósforo y 16 g de potasio, de nutrientes por parcela, se necesitó 16 kg de *Azolla* fresca (AF). Las matrices de fertilización correspondieron a:

- (a) Testigo (sembrío sin aplicar ningún fertilizante)
- (b) 40 g N-Urea
- (c) *Azolla* fresca 16 kg + 20 g N-Urea
- (d) *Azolla* fresca 8 kg + 20 g. N-Urea
- (e) *Azolla* fresca 8 kg
- (f) *Azolla* fresca 16 kg

3. Resultados y discusión

El potencial del bioabono *Azolla* en el arroz se determinó en los cultivos experimentales mencionados (Figura 1).

En la Tabla 1 constan los rendimientos de producción de arroz en toneladas por hectárea (t/ha) de las variedades INIAP 12 e INIAP 14 que se representan por I-12 e I-14, cuyo conteo y pesaje se obtuvo con la participación de estudiantes de la Universidad Agraria del Ecuador (UAE) y de la ESPOL. Asimismo, en los rendimientos promedio se incluye la evaluación estadística respectiva, que se extiende en la Tabla 2 al experimento completo. Promedios con igual letra son estadísticamente iguales ($p=0.05$) de acuerdo a Duncan.



Figura 1. Parcelas experimentales San Gabriel

Tabla 1. Rendimiento (t/ha)

Subtratamiento	Invierno			Verano		
	I-12	I-14	Prom	I-12	I-14	Prom
Testigo	3.89	4.99	4.44c	4.16	4.35	4.26ns
A	4.35	4.99	4.67c	4.20	3.88	4.04ns
B	4.34	5.85	5.10c	4.70	4.03	4.37ns
C	3.71	5.03	4.37c	4.79	4.00	4.39ns
D	6.15	6.42	6.29b	3.71	4.09	3.90ns
E	7.06	7.77	7.42a	3.69	4.45	4.07ns

A = 100 kg N-Urea/ha

B = 40 000 kg AF/ha+50 kg N-Urea/ha

C = 20 000 kg AF/ha+ 50 kg N-Urea/ha

D = 20 000 kg AF/ha

E = 40 000 kg AF/ha

Tabla 2. Valores estadísticos de rendimiento

Fuente de variación	GL	Invierno		Verano	
		CM	SE	CM	SE
Bloque	3	0.98	ns	0.53	ns
Variedad	1	10.29	ns	0.07	ns
Error a	3	1.55		0.87	
Subtratamiento	5	11.90	*	0.31	ns
Variedad x subtratamiento	5	0.43	ns	0.76	ns
Error b	30	0.22		0.79	
Total	47				
CVb (%)				11	21

ns = no significativo

* = significativo

GL= grados de libertad

SE = significancia estadística

CM = varianza

CV = coeficiente de variación

De acuerdo con la prueba de Duncan, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$), tanto en invierno como en verano, entre las variedades de arroz INIAP 12 e INIAP 14 utilizadas en el experimento.

En invierno la aplicación de 40 t/ha de AF arrojó un rendimiento de 7.42 t/ha, que resultó superior estadísticamente a los demás subtratamientos. De igual forma la abonadura con 20 t/ha de AF, alcanzó un promedio de 6.49 t/ha de arroz paddy, valor estadísticamente superior a los cuatro restantes. La combinación de 20 t/ha de *Azolla* con 50 kg/ha de N-Urea, la fertilización de 100 kg Urea/ha y el testigo resultaron estadísticamente iguales ($p=0.05$), debido seguramente a la alta CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) del suelo donde se llevaron a cabo los experimentos.

En verano no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p = 0.05$) entre los diferentes subtratamientos utilizados en el experimento.

4. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El uso de la *Azolla* como bioabono en el cultivo de arroz evita la contaminación ambiental, abarata costos de producción debido al bajo uso de fertilizantes químicos. El rendimiento económico de esta aplicación puede alcanzar altos niveles sobre todo si se ubican los nichos apropiados para esta actividad. Por ejemplo, el desarrollo de provisiones de *Azolla* fresca y paquetes tecnológicos de aplicación, representa una atractiva actividad.

El cultivo de arroz de la variedad INIAP 12 o INIAP 14 utilizando *Azolla* como fertilizante produjo 7.42 t/ha en el experimento de invierno 2003.

Producir *Azolla* es un negocio rentable, al producir una Tasa Interna de Retorno del orden de 50.60 %, lo que resulta mayor a la tasa de descuento del costo de capital [19].

A través de sencillos procedimientos técnicos se puede cultivar la *Azolla* para fines inicialmente agrícolas, pudiéndose extender su aplicación a alimentación animal, salud y tratamiento de residuos.

Recomendaciones

Realizar otras pruebas experimentales con el fin de aclarar al mayor grado posible la certeza del rendimiento de arroz utilizando *Azolla* como fertilizante a lo largo de todo el año, y en los principales sitios de cultivo de arroz, como Samborondón, Yaguachi y Babahoyo. También se requiere estudiar diferentes métodos de aplicación de *Azolla* al cultivo de arroz.

Profundizar en el estudio biológico de la *Azolla Anabaena* nativa, con el fin de proponer otras alternativas de manejo y aplicación. En esto un tema que se recomienda estudiar a fondo es la reproducción; se conocen y se han detectado en el proyecto dos procesos: esporulación y fragmentación. Cada uno de ellos tiene sus especiales particularidades y aplicaciones.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través del Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA) y contó con el auspicio de la ESPOL, ICQA y CICYT (Centro de Investigaciones

Científicas y Tecnológicas). Muchísimas personas contribuyeron al éxito de este trabajo con dedicación y talento, entre ellas, Mariuxi Espinoza, Carlos Rolando, Bárbara Treiber, Kléber Medina y Leonardo Mejía.

6. Referencias Bibliográficas

[1] INEC-MAG-SICA, 2001. III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO-DATOS NACIONALES, ECUADOR, www.sica.gov.ec, Quito.

[2] Rolando Carlos (Editor), 2003. MEMORIAS DEL PRIMER FORO TECNICO DEL CULTIVO DEL ARROZ EN LAS PROVINCIAS DEL LITORAL, Consorcio Prounid-Proexant-Universidad de Florida-Idea, Componente de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, PROMSA, Guayaquil.

[3] GTZ-IICA-INIAP-CIAT, 2001. Manual de Producción de Arroz de Calidad en el Ecuador, Guayaquil.

[4] INEC y Proyecto SICA-BM/MAG, 2001 – Ecuador, www.sica.gov.ec, Quito.

[5] SICA-BIRF/MAG, 2002. ARROZ Para que coma todo el mundo, www.sica.gov.ec.

[6] Hernández Gil Rubén, 2002. Nutrición mineral de las plantas, Lbroboticaonline, www.forest.ula.ve/~rubenhg/, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

[7] Sprent, J.I., 1979. The biology of nitrogen fixing organisms. Mac-Graw-Hill, London.

[8] Carrapiço Francisco et al., 2001. Azolla as a Greenmanure. From the article Azolla as a biofertilizer in Africa. In press Revista de Ciencia Agraria, V 23.

[9] Watanabe Iwao, 2000. Biological Nitrogen Fixation and its Use in Agriculture, JICA, Cantho University, www.asahi-net.or.jp.

[10] Peters, G.A., 1983. The Azolla-Anabaena relationship Plant. Phys. Elsevier. Holanda.

[11] Peters, G.A., 1985. Aspects of nitrogen and carbon interchange in the Azolla-Anabaena symbiosis. Elsevier Sc. Publ.

[12] Submaranian, G., 1986. Sewage Utilization and Waste Recycling by Cyanobacteria, Indian J. Env. Hlth. Vol. 28.

[13] Yoneyama, T., 1987. Nodule bacteroid in Anabaena. Natural nitrogen enrichment in the legum rhizobium and Azolla-Anabaena symbiotic system, Journal of Plant Phisiology, V127.

[14] Zimmermann, B.J. 1987. Growth, nitrogen fixation and mass cultura of Anabaena Azolla. Biotech. Vol 9, No.1.

[15] Lumpkin Thomas A. y Donald L. Plueknett (1985). Azolla, A Low Cost Aquatic Green Manure

for Agricultural Crops, en *Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries-Workshop Proceedings*, U.S. Congress, Office of Technology Assessment- OTA, Washington, DC, 107-126.

[16] Ramírez Gaibor Hugo, 1986. Identificación de algas verdes azules fijadoras de nitrógeno en suelos inundados y sus efectos en el cultivo de arroz en la zona del subproyecto de Riego América, Prov. Guayas, Universidad de Guayaquil.

[17] Icaza Torres Luis (1991). Respuestas a las aplicaciones de abonos orgánicos y minerales sobre el desarrollo de la azolla y efectos de su incorporación en el cultivo de arroz en la zona de Urbina Jado, Prov. Guayas, Universidad de Guayaquil.

[18] Palacios Anzules Italo, 1992. La azolla y sus usos como fuente nitrogenada en arroz (*Oriza sativa*) cultivado bajo condiciones de inundación, Prov. Guayas, Universidad de Guayaquil.

[19] Franco Magues Imer, 2003. “Azolla-Anabaena como un abono alternativo en la producción de arroz en el Litoral Ecuatoriano. Análisis Económico-Financiero”, Tesis del Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas, Ingeniería Comercial y Empresarial, especialización Finanzas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.