

# Evaluación de la incorporación de *Mucuna pruriens* L. (Fabaceae) y *Crotalaria spectabilis* Roth (Fabaceae), sobre el aporte y absorción de nutrientes en el cultivo de arroz

Sócrates Céspedes Castro<sup>1</sup> Andrés Zúñiga Orozco<sup>2</sup> Alexander Mendoza Luna<sup>3</sup> Wagner Peña Cordero<sup>4</sup> Karla Montero Jara<sup>5</sup> Aldo Chaves Murillo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Agronómica, UNED, CU San José. Contacto: [socracr@gmail.com](mailto:socracr@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. Apdo.474-2050. Contacto: [azunigao@uned.ac.cr](mailto:azunigao@uned.ac.cr). Teléfono: (506) 22021813. San Pedro, San José, Costa Rica.

<sup>3</sup> Director de Investigaciones, CONARROZ. Teléfono. Contacto: [amendoza@conarroz.com](mailto:amendoza@conarroz.com) Teléfono: (506) 22551313. San Pedro, San José, Costa Rica.

<sup>4</sup> Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. Apdo.474-2050. Contacto: [wpena@uned.ac.cr](mailto:wpena@uned.ac.cr). Teléfono: (506) 22021842. San Pedro, San José, Costa Rica.

<sup>5</sup> Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. Apdo.474-2050. Contacto: [kmontero@uned.ac.cr](mailto:kmontero@uned.ac.cr). Teléfono: (506) 22021841. San Pedro, San José, Costa Rica.

<sup>6</sup> Agrónomo CITTED. Contacto: [achaves@uned.ac.cr](mailto:achaves@uned.ac.cr). Alajuela, Costa Rica.

Recibido: 15 de febrero de 2019 Aceptado: 16 de abril de 2019

## RESUMEN

Se utilizaron dos fuentes vegetales como abono verde, *Mucuna pruriens* y *Crotalaria spectabilis*, en tres diferentes dosis: 100, 150 y 250 gr/m<sup>2</sup>. Se logró determinar la dosis de 100 gr/m<sup>2</sup> con *M.pruriens* como la mejor en rendimiento, incluso mejor que el testigo comercial y otros tratamientos, además con una calidad de grano aceptable, también contribuyendo con una mejor CICE, una menor acidificación del suelo e incorporación de materia orgánica. Otros efectos y factores involucrados bajo las condiciones de este ensayo señalan el mejor tratamiento, el cual es una dosis de *Mucuna* 100 g/m<sup>2</sup>, en este tratamiento se encontró mayor presencia de Ca, Mg, K y P en el suelo, así como K, P, Zn, Cu y S a nivel foliar.

**Palabras claves:** Abonos verdes, *Mucuna*, *Crotalaria*, Arroz, Fertilizantes,

## ABSTRACT

**Evaluation of the incorporation of *Mucuna pruriens* L. (Fabaceae) and *Crotalaria spectabilis* Roth (Fabaceae), on the contribution and absorption of nutrients in rice cultivation** Evaluation of the incorporation of *Mucuna pruriens* L. (Fabaceae) and *Crotalaria spectabilis* Roth (Fabaceae), on the contribution and absorption of nutrients in rice cultivation de título en inglés

Two green manure sources, *Mucuna pruriens* and *Crotalaria spectabilis* were used in three different doses: 100, 150 and 250 gr/m<sup>2</sup>. It was possible to determine the dose of 100 gr / m<sup>2</sup> with *M.pruriens* as the best treatment in yield, even better than the commercial control and other treatments, also with an acceptable grain quality, also contributing with a better EIEC, a lower acidification of the soil and incorporation of organic matter. Other effects and factors involved under the conditions of this trial indicate the best treatment, which is a dose of *Mucuna* 100 g / m<sup>2</sup>, in this treatment a greater presence of Ca, Mg, K and P was found in the soil, as well as K , P, Zn, Cu and S at foliar level.

**Key words:** Green manure, *Mucuna*, *Crotalaria*, Rice, Fertilizers,

## Introducción

El arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, además es el cultivo más importante del mundo en términos de superficie en que se cultiva (Sánchez y Vega 2018), desde el punto de vista de la producción, ocupa el segundo lugar en importancia, después del trigo, se cultiva en casi todas las partes del mundo, existen muchas variedades, cada una de las cuales se adapta a una región especial (Villareal *et al.* 2015), es casi la única planta de uso agrícola que se desarrolla en forma óptima, en terrenos inundados (Chinchilla 1998). Desde un punto de vista botánico se caracteriza por ser una gramínea anual de tallos redondos y huecos compuestos de nudos y entrenudos, hojas de láminas planas unidas a los tallos por la vaina y su inflorescencia es una panícula, su Clase es una Monocotiledónea, de la Familia *Poaceae*, su género es *Oryza* y su especie *sativa* (INTA 2009, Agüero 1996). En el cultivo de este cereal es importante aportar los nutrientes necesarios en el momento y forma adecuada, en cuanto a este tema, se ha determinado que el Nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes para la alta productividad, la fuente de N más común es la Urea (Herber 2015 y Dobermann y Fairhurst 2005). Los productores deben tomar precauciones para prevenir grandes pérdidas por el manejo inadecuado de este elemento.

La aplicación de Nitrógeno es óptima si se aplica en la fase inicial del cultivo, la cual se ubica antes de la inundación permanente en caso de ser arroz inundado; para el caso de arroz en secano, después de la aplicación del fertilizante el productor debe irrigar y establecer una lámina de agua permanente (Pulver y Oviedo 2005). Cuando se aplican fertilizantes en ocasiones se puede hacer un uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos, en el arroz sobre todo el caso de las fuentes nitrogenadas como la urea, ésta fuente fertilizante ha tenido efectos perjudiciales en las propiedades del suelo y su conservación (Herber 2015); en muchos casos ha causado la acidificación de los suelos cultivables y la disminución de la materia orgánica hasta llegar a la pérdida de la capa arable, en consecuencia, ha provocado que cientos de áreas antes cultivadas queden en total desertificación (Villareal *et al.* 2015). Aunque el nitrógeno se presenta en forma nítrica y amoniacal, es la molécula de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) la cual, en exceso, tiene un papel perjudicial en la contaminación ambiental. El nitrato se lixivia a través de las capas del suelo y llega a mantos acuíferos, así como a reservorios, ríos y lagos, esta molécula tiene repercusiones ambientales, una es la proliferación de algas marinas en represas y canales de drenaje, éstas aprovechan el exceso de este anión y crecen desmedidamente provocando problemas en la evacuación de aguas. Otro de los problemas asociados a los nitratos es que, altas acumulaciones en el agua pueden producir enfermedades especialmente en niños, caso del "síndrome del bebé azul". También los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos que pueden ser cancerígenos (Miliarium 2008).

En las zonas donde se practica agricultura intensiva se utilizan grandes cantidades de fertilizantes químicos, a los que se suman los aportes naturales que provienen de los excrementos animales. Estos fertilizantes suelen contener una cantidad importante de nitratos, que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumentan su rendimiento, sin embargo, cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las aguas subterráneas, contaminando pozos y acuíferos (Montiel *et al.* 2014).

En cuanto a la dinámica del nitrógeno en el suelo, es importante citar el concepto de eficiencia ya que, se refiere a que solo parte del nutrimento aplicado al suelo es aprovechado por la planta, en pocas palabras la mayoría de nutrimentos se pierde y queda en disposición de contaminar fuentes o cuerpos de agua y ecosistemas naturales, como es el caso del ion nitrato, el cual es muy móvil en el perfil del suelo, especialmente en suelos franco-arenosos. Kass (2007) señala que, los nutrimentos que liberan los fertilizantes aplicados al suelo se pierden por lixiviación o porque reaccionan con otros materiales presentes en el suelo y precipitan, lo que los hace no disponibles para las plantas.

Una alternativa para mitigar la excesiva aplicación de N es la utilización de abonos verdes, la cual ha tomado importancia como una solución a la pérdida de Nitrógeno en el suelo a través de volatilización y lixiviación. Los abonos verdes son comunes de fuentes como las plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas Villareal *et al.* (2015) mencionan que, el contenido de N en la biomasa superficial de las leguminosas permite obtener una aproximación de la cantidad del elemento potencialmente disponible para reciclaje, lo que ofrece un elemento cuantitativo para la relación con la respuesta a dosis de N en presencia o ausencia de abono verde. Debido a lo anterior, en este ensayo se decidió usar y comparar el uso de dos fuentes de abonos verdes, *Crotalaria spectabilis* y *Mucuna pruriens*.

*Mucuna pruriens* se ha utilizado como abono verde, donde se ha comprobado que aporta nitrógeno aprovechable para las plantas; especies de abonos verdes de sistemas radiculares profundos ejercen un papel importante en el reciclaje de otros nutrientes desde las capas profundas del suelo hacia las capas más superficiales (Fonseca, 2014). También se usa para suelos erosionados por su gran rusticidad y tiene un 32% de proteína lo cual la hace atractiva para alimentación animal (Chaparro, Aristizabal y Gil 2009)

La importancia de realizar esta investigación no solo reside en el mejoramiento de la eficiencia de los fertilizantes, sino también en brindar una reducción de la contaminación de los mismos y ayudar al suelo a tener disponible los nutrientes en el momento y cantidad que la planta necesita, además con el uso de éste tipo de bio-fertilizantes es posible cuantificar la reducción en la aplicación de fertilizantes, incidir directamente en la reducción de costos de producción, contribuir al mejoramiento de la competitividad del sector y además presentar una posible contribución a la implementación de la producción sostenible. También al reducir la

aplicación de fertilizantes sintéticos es posible mejorar la frecuencia y abundancia de los microorganismos (Montiel et al. 2014, Lima et al. 2012))

Debido a toda la problemática planteada se sembraron dos fuentes de abonos verdes, *Crotalaria spectabilis* y *Mucuna pruriens*, se incorporó su residuo seco en el suelo para evaluar bajo diferentes variables indicadoras, la eficiencia de absorción de nutrimentos, especialmente nitrógeno.

## Metodología

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del CITED (Centro de Investigación Transferencia Tecnológica y Educación para el Desarrollo) en la Perla de San Carlos, Alajuela. Se sembró parcelas con *M.pruriens* a una distancia de 0.5 x 0.5 m, y se se

cosechó a los 75 días, se secó naturalmente, se molió finamente y se incorporó al suelo (Figura 1). Partiendo de estudios previos (Correa et al. 2017, Lima et al. 2012 y Ambrosano et al. 2009) donde se reportan 5.5 ton/ha de materia fresca, se sembró 100 m<sup>2</sup> para obtener 50.5 Kg de materia fresca y 12.6 Kg de materia seca en una relación 4:1 Para el caso de *C.spectabilis* se procedió igualmente que con la *M.pruriens* pero se sembró a 10 g/m<sup>2</sup> (20 Kg/ha), se cosechó a los 60 días y se cosechó 89 kg de materia fresca para obtener 12.6 Kg de materia seca, en una relación de 7:1.

En la figura 1 se observa cómo se preparó el cultivo de los abonos verdes previo a ser utilizado en el experimento. En este punto se hizo la siembra previa, se secó la materia fresca y se utilizó la materia seca aplicada e incorporada al suelo.



Figura 1. Cultivo y preparación de las dosis de abonos verdes utilizados en los tratamientos. Alajuela, Costa Rica.

Previo a la siembra del arroz se realizó un tratamiento de agotamiento de malezas con Cosmo In® (alcohol etoxilado, Polyoxiethylene Alkylether, Indicador de calidad de agua) a 1 cc/L agua, Paraquat 1L/ha y Pendimetalina 1.5 L/ha. Una vez preparado el suelo se tomó una muestra inicial de suelo para análisis del tipo químico completo general de toda la parcela, en el cual se tomó también el contenido de Materia Orgánica, así mismo se hizo lo correspondiente al final del experimento para comparar contenidos iniciales versus finales.

Se incorporó los abonos secos y procesados 21 días antes de la siembra tomando como referencia la tasa de mineralización reportada en los trabajos de Peña y Arias (2017). El diseño experimental utilizado por la naturaleza de la investigación fue el de bloques completos al azar (BCA), el cual contó con 7 tratamientos y 5 repeticiones cada uno. Se utilizó un ANOVA en las variables que permitieron analizarse de este modo y en caso de significancia se utilizó el análisis

de Duncan con un error experimental del 5%.

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

*Cuadro 1.* Descripción de tratamientos aplicados 21 días antes de la siembra. San Carlos, Alajuela. Mayo 2017.

Previo a la siembra del arroz se realizó un tratamiento de agotamiento de malezas con Cosmo In® (alcohol etoxilado, Polyoxiethylene Alkylether, Indicador de calidad de agua) a 1 cc/L agua, Paraquat 1L/ha y Pendimetalina 1.5 L/ha. Una vez preparado el suelo se tomó una muestra inicial de suelo para análisis del tipo químico completo general de toda la parcela, en el cual se tomó también el contenido de Materia Orgánica, así mismo se hizo lo correspondiente al final del experimento para comparar contenidos iniciales versus finales.

Se incorporó los abonos secos y procesados 21 días antes de la siembra tomando como referencia la tasa de mineralización reportada en los trabajos de Peña y Arias (2017). El diseño experimental utilizado por la naturaleza de la investigación fue el de bloques completos al azar (BCA), el cual contó con 7

tratamientos y 5 repeticiones cada uno. Se utilizó un ANOVA en las variables que permitieron analizarse de este modo y en caso de significancia se utilizó el análisis de Duncan con un error experimental del 5%.

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

Cuadro 1. Descripción de tratamientos aplicados 21 días antes de la siembra. San Carlos, Alajuela. Mayo 2017.

Tratamiento	Descripción	Dosis gr/m <sup>2</sup>	Repeticiones/ tratamiento	Momento de aplicación (días antes de siembra)
1	Mucuna	100	5	21
2	Mucuna	150		
3	Mucuna	250		
4	Crotalaria	100		
5	Crotalaria	150		
6	Crotalaria	250		
7	Testigo			

El tratamiento testigo llevó el manejo comercial usual, del paquete tecnológico recomendado por CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). En cuanto al diseño de la parcela, cada repetición constó de un área de 2 x 2 m (4 m<sup>2</sup>) y para efectos de mediciones se tomó el área central de 1 x 1 m. A cada repetición se le realizó un diseño de bancal para conservar la humedad ya que el sistema utilizado fue de secano por ser el de mayor uso en el sector arrocero. Las entrecalles entre tratamientos fueron de 0.5 m y se sembró un borde de 0.3 m a lo largo de toda la parcela. Inmediatamente después de la preparación del terreno, la demarcación y el análisis de suelo inicial, se incorporaron los abonos verdes secos y molidos. Esto se realizó 21 días antes de la siembra y se procuró tener el suelo a capacidad de campo para iniciar el proceso de incorporación de los nutrientes desde el material seco hacia el suelo. La variedad utilizada fue la Palmar 18 a una dosis de semilla de 2 qq/ha. A la semilla se le realizó un tratamiento pre siembra en el cual se seleccionó semilla y se sembró a una dosis de 50 gr/repetición previendo un 80% de germinación. Durante todo el ciclo se le dio al cultivo el manejo comercial usual del sector arrocero, proporcionado por la institución CONARROZ en asocio con el CITED.

Finalmente, al momento de cosecha se tomó un análisis de suelo del tipo químico completo, materia orgánica del suelo y un análisis foliar por tratamiento. El rendimiento se cuantificó individualmente por repetición y se midió variables de calidad molinera.



Figura 2. Vista general de la parcela experimental donde fueron usados abonos verdes con dos fuentes y en varias dosis. San Carlos, Alajuela, Costa Rica. 2017.

Las variables cuantificadas fueron las siguientes: rendimiento en ton/ha, calidad molinera: % grano entero y % rendimiento en pilada, contenido de nitrógeno analizado con N total en la biomasa, absorción foliar de nutrientes: % de cada elemento esencial, cantidad de nutrientes esenciales en el suelo, % de materia Orgánica en el suelo

## Resultados

En cuanto a la variable de rendimiento (figura 3), se observa como el mejor tratamiento fue el 1 (*Mucuna* 100 gr/m<sup>2</sup>), seguido del grupo de los tratamientos 3, 4 y 5, con rendimientos muy similares (p<0.05). Se observa como la mayoría de tratamientos fueron superiores al testigo comercial.

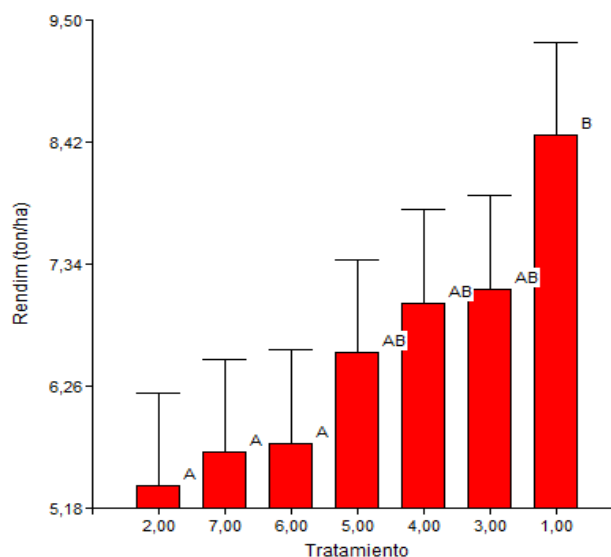


Figura 3. Rendimiento por cada tratamiento donde fueron usados abonos verdes. San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

En la figura 4, aunque estadísticamente no hubo diferencias en la variable de grano entero (p>0.05), el efecto observado en el tratamiento 5 (*Crotalaria* 150 gr/m<sup>2</sup>) fue el que mejor calidad obtuvo. El estándar

aceptable en laboratorio de control de calidad nacional realizado por CONARROZ es de un mínimo de 36%, por lo que todos los tratamientos superaron ese estándar.

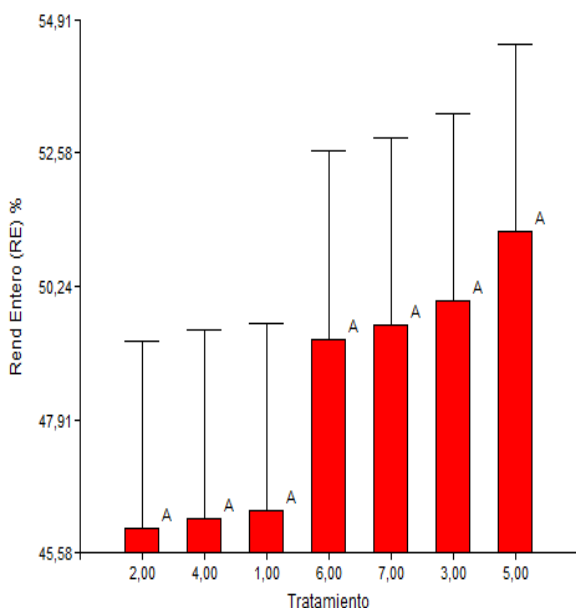


Figura 4. Calidad obtenida en rendimiento de grano entero por cada tratamiento donde fueron usados abonos verdes. Alajuela, Costa Rica.

Aunque estadísticamente no hubo diferencias en rendimiento de pilada (Figura 5), hay un efecto observable entre todos los tratamientos en comparación al testigo, siendo este último el de menor rendimiento. El estándar aceptable en laboratorio de control de calidad de CONARROZ es de un mínimo de 60%, por lo que todos

superan el estándar excepto el tratamiento 7 (testigo).

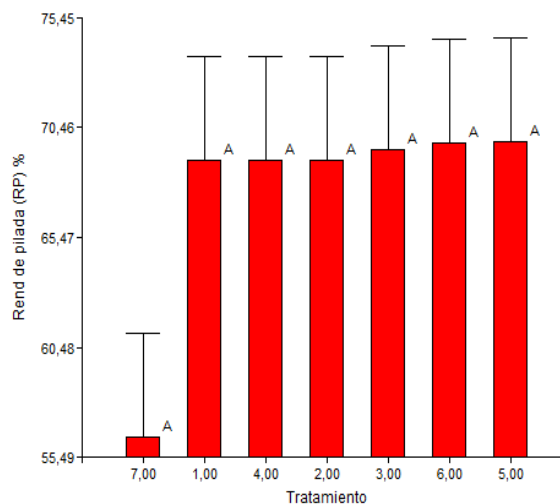


Figura 5. Calidad obtenida en rendimiento de pilada por cada tratamiento donde fueron usados abonos verdes. Alajuela, Costa Rica.

En el cuadro 2 se presenta el análisis de suelo inicial y final, en cuanto a pH, acidez, CICE y % de saturación de acidez(%S.A.), se observa como no hay grandes cambios en cuanto a las variables cuantificadas. Solamente se puede observar una tendencia a la mayor acidificación del suelo en el tratamiento 7 (testigo), factor que se evidencia en el incremento de acidez y % de S.A., situación que resalta con respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 2. Análisis de suelo del tipo químico completo donde se observan las variables: pH, acidez, CICE y %S.A., donde se contrasta el inicio y final del experimento. Alajuela, Costa Rica.

Tratamientos	pH		Acidez (cmol(+)/L)		CICE (cmol(+)/L)		%S.A.	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	5.8	5.8	0.11	0.11	13.38	14.47	0.8	0.8
2	5.8	5.8	0.11	0.10	13.38	15.58	0.8	0.6
3	5.8	5.9	0.11	0.10	13.38	14.99	0.8	0.7
4	5.8	5.9	0.11	0.9	13.38	14.58	0.8	0.6
5	5.8	5.8	0.11	0.11	13.38	13.77	0.8	0.8
6	5.8	5.8	0.11	0.11	13.38	13.42	0.8	0.8
7	5.8	5.7	0.11	0.13	13.38	12.59	0.8	1

En el cuadro 3 se observan los elementos individualmente, en el cual se contrasta los iniciales con respecto a lo que se obtuvo al final del experimento. En el tratamiento 1 (*Mucuna* 100 gr/m<sup>2</sup>) hubo una tendencia de incremento en los elementos Ca, Mg, K y P, situación

que pudo haber favorecido a obtener un mejor rendimiento, se hace la referencia al tratamiento 1 por ser el de mayor rendimiento obtenido.

**Cuadro 3. Análisis de suelo microelementos del tipo químico completo donde se observan individualmente los elementos y donde se contrasta el inicio y final del experimento. Alajuela, Costa Rica.**

			Tratamientos						
			1	2	3	4	5	6	7
Nutrimiento (cmol(+)/L)	Rangos	Inicial	Final						
Ca	4-15	10.27	10.9	11.8	10.9	11.2	10.2	9.77	8.94
Mg	1-6	2.63	2.81	2.93	2.94	2.69	2.89	2.55	2.81
K	0.2-0.8	0.37	0.68	0.79	1.02	0.59	0.57	0.99	0.71
P	10-50	6	10	11	10	13	13	11	8
Nutrimiento (mg/L)									
Zn	2-10	13.3	8.7	10.4	10	8.9	9.8	9.8	8.1
Mn	5-50	106	61	76	80	60	98	73	55
Cu	1-20	26	16	20	17	15	18	18	16
Fe	10-50	113	88	106	97	74	96	106	85

En el cuadro 4 se presenta el análisis foliar, primeramente, se observó que los macroelementos más el cobre y boro estuvieron cercanos al límite inferior. Seguidamente se observa una menor acumulación de K,

P, Zn, Cu y S en el tratamiento 1 (*Mucuna* 100 gr/m<sup>2</sup>), con respecto a los otros tratamientos.

**Cuadro 4. Análisis foliar del tipo químico completo donde se observan individualmente los nutrientes, realizado en la etapa de inicios de madurez de floración. Alajuela, Costa Rica.**

Rangos Óptimos (%)*	Tratamientos (%)						
2.6-4.8	2.72	2.77	2.86	2.75	2.96	2.68	2.81
0.2-4.0	0.38	0.36	0.39	0.38	0.4	0.41	0.37
0.15-0.7	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
1-3.5	1.28	1.46	1.45	1.46	1.38	1.36	1.57
0.1-0.4	0.18	0.21	0.21	0.21	0.2	0.18	0.19
0.15-0.30	0.22	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.24
(ppm)*	Tratamiento (ppm)						
18-50	25	26	27	24	26	30	27
40-800	268	187	169	201	325	350	258
7-20	7	8	8	9	8	8	9
75-300	81	39	153	101	54	47	49
6-70	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Correndo y García (2012).

En el cuadro 5 se observa como todos los tratamientos aumentaron la relación C/N, especialmente los tratamientos 1, 2 y 3, es decir todos los tratamientos con *M.pruriens*. Para el caso del % de M.O., todos los tratamientos aumentaron el contenido, excepto el tratamiento 7 (testigo). Los tratamientos con mayor

acumulación de materia orgánica fueron el 2, 3 y 4, es decir, *Mucuna* 150 gr/m<sup>2</sup>, *Mucuna* 250gr/m<sup>2</sup> y *Crotalaria* 100 gr/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 5. Relación Carbono, Nitrógeno, (%) relación Carbono/Nitrógeno y % de Materia Orgánica (%MO) observada tanto al inicio como al final del ensayo. Alajuela, Costa Rica.**

Tratamientos	C (%)		N (%)		Relación C/N		%M.O.	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	2.63	2.7	0.29	0.27	9.1	10	3.76	3.86
2	2.63	3.26		0.29	9.1	11.2	3.76	4.66
3	2.63	2.84		0.28	9.1	10.1	3.76	4.06
4	2.63	2.87		0.29	9.1	9.9	3.76	4.1
5	2.63	2.71		0.29	9.1	9.3	3.76	3.87
6	2.63	2.79		0.29	9.1	9.6	3.76	3.98
7	2.63	2.58		0.27	9.1	9.6	3.76	3.68

## Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo con diferentes dosificaciones y dos fuentes de abonos verdes, se obtuvo un efecto en rendimiento mayor usando alguna fuente de abono verde, especialmente con *M.pruriens* (Figura 3). La dosis que obtuvo mejor rendimiento fue la de 100 gr/m<sup>2</sup> ( $p \leq 0.05$ ), lo cual representa una incorporación de 155.9 Kg/ha de nitrógeno versus 161.1 Kg/ha de N aportados en el tratamiento testigo comercial, lo cual hace que sea un tratamiento bastante similar a lo que realiza el productor comúnmente, solamente que con una fuente de nitrógeno más barata y sostenible. Por su parte, en los componentes de calidad (Figura 4 y 5) no se difiere estadísticamente entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), por lo anterior, usar este tipo de bio-fertilizantes tiene un efecto positivo en calidad de grano, además la cantidad de N aportada es muy similar al uso de fertilizante químico como se presentó en la figura 3.

En el tratamiento 1 (100 gr/m<sup>2</sup>), también hubo una tendencia de acumular mayor cantidad de Ca, Mg, K y P en el suelo (Cuadro 3), así como K, P, Zn, Cu y S en el área foliar (Cuadro 4), lo cual indica que los nutrientes aportados al suelo se ven reflejados en un incremento en la biomasa aérea y esto contribuye con el rendimiento, especialmente el P, el K y el Zn, cuya función está dirigida a formar la flor, cuaje y llenado de grano según Bertsch (2003), INTAGRI (2017) y Rodríguez y Flores (2004). También la acumulación de materia orgánica en el suelo en este tratamiento (cuadro 5) posiblemente fue de mucha utilidad por un incremento en biodisponibilidad de nutrientes y acción de los microorganismos tan y como ha sido registrado en otras investigaciones (Correa *et al.* 2017, Omari *et al.* 2016, Ambrosano *et al.* 2009) y permiten un mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Uno de los efectos que colaboran a que *M. pruriens* sea de alto valor agronómico es que la tasa de mineralización es muy rápida, especialmente por los trabajos de Peña y Arias (2017) y otros investigadores como Correa *et al.*

(2017) y Ambrosano *et al.* (2009), es por esta razón fue que se decidió usar estas especies de plantas e incorporarlas en materia seca a los 21 días antes de la siembra de arroz.

Es posible pensar que a mayor dosis de abonos verdes se van a obtener los mejores rendimientos, sin embargo, bajo las condiciones experimentales de este ensayo no se obtuvo ese comportamiento. En este caso donde el arroz es un cultivo de ciclo corto y que el periodo de evaluación fue de un ciclo de 4 meses, se obtuvo que, la menor dosis de *M.pruriens* (100 gr/m<sup>2</sup>) presentó el mejor desempeño. Por otra parte si observamos el cuadro 5 en la variable %M.O comparando lo obtenido en los tratamientos 1, 2 y 3, cuya fuente fue *M.pruriens*; el tratamiento 1 (*Mucuna* 100 gr/m<sup>2</sup>) no fue mejor que el 2 y el 3, aunque estos últimos acumularon la mayor cantidad de materia orgánica. Lo anterior indica que, es posible que a largo plazo las dosis mayores puedan sostener una buena productividad, como la observada en un primer ciclo de cultivo, esto por cuanto que, la materia orgánica se puede acumular en el suelo; sin embargo, es recomendable mantener un monitoreo frecuente ya que el exceso podría bloquear las relaciones entre los nutrientes. En cuanto a la relación C/N (cuadro 5) es importante destacar que, todos los tratamientos aumentaron su valor, excepto el 7 (testigo), esto evidencia como hubo acumulación de carbono en el suelo, el cual estuvo disponible para su mineralización inmediata y quedará disponible para su mineralización a mediano plazo, de hecho, la CICE sigue el mismo patrón (cuadro 2), aumenta en todos los tratamientos, excepto en el testigo, esto evidencia como se favorece la capacidad de intercambio catiónica, lo cual ayuda a mineralizar los contenidos de materia orgánica.

En cuanto al nitrógeno se observa que (cuadro 5), los contenidos a nivel del suelo no varían sustancialmente al final, pero en todos los casos aumentaron observando el contenido inicial versus el final, exceptuando en el tratamiento 7 (testigo) donde si se redujo levemente. El tratamiento 1 puede haber aprovechado la incorporación de este elemento para producir más y el tratamiento 7,

posiblemente al tener poca materia orgánica favoreció la pérdida de este elemento. Según los contenidos de este elemento en el análisis foliar (cuadro 4), los tratamientos que mayor acumularon N fueron el 5 y el 3, sin embargo, aunque estos tratamientos presentaron rendimientos aceptables, no son los que mejor se comportaron en el experimento para rendimiento, esto quiere decir que el elemento nitrógeno no parece tener una correlación directa y clara en la correlación: mayor contenido/mayor rendimiento, otros factores involucrados deben estar más asociados con obtener mejores rendimientos bajo las condiciones de este experimento, tales como: el mejoramiento en la CICE, los contenidos de %M.O, algunos nutrimentos como K, P, Zn, Cu y S encontrados en el análisis foliar, una menor acidificación del medio y la relación C/N. Otro resultado importante de destacar es que, se confirma que usar solamente fertilizantes sintéticos acidifica el suelo, tal y como se evidencia en el cuadro 2, donde se observa que en las cuatro variables se acidifica el suelo (pH, acidez, CICE y %SA), especialmente en el tratamiento 7 (testigo), mientras en todos los otros tratamientos donde se usaron los abonos verdes, independientemente de la fuente, conservan las condiciones edáficas; lo anterior a largo plazo es una ventaja para la conservación de la salud del suelo y en consecuencia para la producción.

## Conclusiones

Se debe usar una dosis de *Mucuna* 100 g/m<sup>2</sup>, en este tratamiento se encontró mayor presencia de Ca, Mg, K y P en el suelo, así como K, P, Zn, Cu y S a nivel foliar.

El aporte de N en el tratamiento *Mucuna* 100 g/m<sup>2</sup> fue de 155.9 Kg/Ha, mientras en el testigo comercial fue de 161.1 Kg/ha, esto convierte a este tratamiento en una alternativa viable de implementar, puesto que además tiene otros beneficios a largo plazo, así como una mejor conservación del suelo.

En el tratamiento *Mucuna* = 100 g/m<sup>2</sup> se observa que, habiendo obtenido un menor contenido en N, P, K, Mg y S con respecto a los otros tratamientos, fue el que mejor rendimiento obtuvo. Según lo anterior, existe la posibilidad de que con menor aplicación de algunos elementos se obtengan mejores rendimientos o haciendo ajustes en nutrición no se necesite aplicar exceso de N.

*M.pruriens* fue la fuente de abono verde que mejor desempeño obtuvo, esto por cuanto obtuvo el mejor rendimiento, una calidad de grano similar al manejo comercial, una mejora en la relación C/N y un aporte en la materia orgánica.

El C, la relación C/N y % de MO independientemente de la fuente de abono verde, mejoró en general los contenidos en el suelo.

Se logró evidenciar como los fertilizantes químicos tienden a acidificar el medio de intercambio catiónico en el suelo.

## Recomendaciones

Evaluar en un plazo mayor a un ciclo de cultivo, se recomienda al menos una evaluación de al menos 2 años en el cual se aporte la dosis de 100 gr/m<sup>2</sup> con la fuente *M.pruriens*.

No descartar las dosis altas de *M.pruriens* puesto que pueden sostener la productividad y mantener las condiciones del suelo a largo plazo.

Incorporar *M.pruriens* en el paquete tecnológico de los productores de arroz, sembrando esta planta en lotes que están en barbecho.

Es posible que esta tecnología pueda ser incorporada al suelo a través de pellets que se incorporen con otros componentes o ingredientes activos, tales como *Thichoderma* spp., *Lecanicillium* spp., *Paecilomyces* spp., aminoácidos, bioestimulantes, entre otros, para darle un enfoque más comercial y aplicable.

Monitorear la calidad física, química y biológica del suelo una vez que se inicia con la incorporación de *M.pruriens* para no afectar el desempeño de la CICE, los contenidos y relaciones entre los nutrimentos.

## Referencias

- Agüero, R. (1996). Malezas del Arroz y su manejo. San José: I.M.R, S.A. 246 p.
- Ambrosano, E.J., Trivelin, P.C.O., Cantarella, H., Ambrosano, G.M.B., Schammass, E.A., Muraoka, T., Guirado, N. y Rossi, F. (2009). Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. *Scientia Agricola* 66(3).
- Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.
- Chaparro, S.P., Aristizabal, I.D. y Gil, J.H. (2009). Composición y factores antinutricionales de las semillas del género *Mucuna*. *Rev. Fac. Nacional de Agronomía Medellín*. 62(1): 4843-4853.
- Chinchilla, E. (1998). Organización Internacional del Trabajo (OIT) Proyecto "Promoción de la Seguridad y la Salud del Trabajo en la Agricultura en América Central-RLA/93/M03/DAN". Tesis Lic. Salud Ocupacional. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (ULACIT). C.R. 36p.



- Correa, C.C.G., Teodoro, P.E., da Silva, F.A., Rieiro, L.P., Zanuncio, A.P., Ceccon, G. y Torres, F.E. (2017). Macronutrients release by Green manure species grown in Cerrado/Pantanal Ecotone. *Bioscience Journal* 33(4): 914-922.
- Correndo, A.A y García F.O. (2012). IPNI (International Plant Nutrition Institute). Archivo Agronómico #14 (en línea). Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2983F9B934DDE60D852579BA00747DF4/\\$FILE/AA14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2983F9B934DDE60D852579BA00747DF4/$FILE/AA14.pdf)
- Dobermann, A. y Fairhurst, T. (2005). Manejo del nitrógeno en arroz. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). *Informaciones Agronómicas*. Número 58: 1-6.
- Fonseca, J.A. (2014). Agricultura biológica (en línea). Colombia. Recuperado de: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301615/16\\_Abonos\\_verdes.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301615/16_Abonos_verdes.pdf)Instituto
- Herber, A. (2015). Fertilización nitrogenada en arroz con fuentes de liberación controlada aplicadas a la siembra. Ponencia en el Seminario de actualización técnica en fertilización de arroz. INTA, Estación Experimental del Este. Buenos Aires Argentina. 4 p.
- INTA (2009). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Manual de recomendaciones técnicas cultivo de Arroz. San José, C.R. 78 p.
- INTAGRI (2017). La función de los nutrimentos. Parte I. Recuperado: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-vegetal-funcion-de-nutrientes-esenciales>
- Kass C.L. (2007). Fertilidad de suelos. San Jose, Costa Rica. Editorial EUNED. 204 p.
- Lima, J.D., Sakai, R.K. y Aldrighi, M. (2012). Biomass production e chemical composition of green manure cultivated in Vale do Ribeira. *Bioscience Journal* 28(5): 709-717.
- Montiel, S., Armienta, M.A., Rodríguez, R. y Domínguez, E. (2014). Identificación de las zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la cuenca de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(2): 149-165
- Omari, R.A., Aung, H.P., Hou, M., Yokoyama, T., Onwona-Agyeman, S., Oikawa, Y., Fuji, Y. y Belingrath-Kimura, S.D. (2016). Influence of Different Plant Materials in Combination with Chicken Manure on Soil Carbon and Nitrogen Contents and Vegetable Yield. *Pedosphere* 26(4): 510-521.
- Peña, W. y Arias A. (2017). Descomposición y liberación de nitrógeno, carbono, elementos mayores y menores de las leguminosas *Mucuna pruriens* y *Crotalaria juncea* en un suelo Andisol y Ultisol en las provincias de Heredia y San José, Costa Rica. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UNED. 93 p.
- Pulver, E. y Oviedo, N. (2005). Programa de Transferencia de Tecnología SENUMISA/FLAR/CFC. Seis factores claves en el manejo de arroz con Alta Productividad. Editorial CONARROZ. Recuperado de: <http://www.conarroz.com/pdf/Factores%20claves%20en%20el%20manejo%20de%20arroz%20de%20riego.pdf>
- Rodríguez, M. y Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. Recuperado de: <http://repositorio.ual.es:8080/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, Y. y Vega, M.F. (2018). Situación del mercado del arroz en Costa Rica: una mirada a la realidad. *Revista Abra*. 38(56): 1-22
- Villarreal, J.E., Barahona, L.A. y Castillo, O.A. (2015). Efecto de zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de Arroz. *Agronomía Mesoamericana*. 26: 315-321