

# Análisis de la eficiencia de la fertilización mediante el uso de Zeolita natural y *Mucuna pruriens* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones controladas en microparcels situadas en Parrita, Puntarenas, Costa Rica

Andres Zuñiga Orozco<sup>1</sup>, Karla Montero Jara<sup>2</sup>, Wagner Peña Cordero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>. Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. San Pedro, San José, Costa Rica; [azunigao@uned.ac.cr](mailto:azunigao@uned.ac.cr)

<sup>2</sup>. Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. San Pedro, San José, Costa Rica; [kmontero@uned.ac.cr](mailto:kmontero@uned.ac.cr)

<sup>3</sup>. Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. San Pedro, San José, Costa Rica; [wpena@uned.ac.cr](mailto:wpena@uned.ac.cr)

Recibido: 18 de junio de 2020

Aceptado: 01 de setiembre de 2020

## RESUMEN

Análisis de la eficiencia de la fertilización mediante el uso de Zeolita natural y *Mucuna pruriens* en arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones controladas en microparcels localizadas en Parrita, Puntarenas, Costa Rica. **Objetivo:** aplicar una fuente de abono verde, *Mucuna pruriens* y zeolita en el cultivo de arroz para explorar la posibilidad de mejorar la eficiencia de fertilización y absorción de nutrimentos. **Método:** fue aplicada una dosis de 152 g/m<sup>2</sup> (1.5 ton/ha) de *M.pruriens* seca y molida, así como una fuente mineral a base de zeolita con una dosis de 38,25 g/m<sup>2</sup> (382 kg/ha), en diferentes tratamientos en combinación o sin fertilización comercial en microparcels del cultivo de arroz en la zona de Parrita, Puntarenas. **Resultados:** se obtuvo para el rendimiento (ton/ha), que el mejor tratamiento fue el que combinó la fertilización comercial + zeolita + *M.pruriens* (p<0.1). La absorción de nitrógeno mejoró posiblemente debido a la presencia de la Zeolita y *M. pruriens* por sus cualidades como acondicionadores físico-químicos y en el caso de *M.pruriens* por su contribución de N. La relación C/N, % de materia orgánica a nivel del suelo y contenido de K a nivel de la hoja, aumentó en todos los tratamientos (p<0.1) y aunque la variable de calidad del grano no fue significativa(p>0.1), siguió la misma tendencia que el rendimiento. **Conclusiones:** A pesar de no obtener mejores rendimientos que el promedio nacional (4.5 ton/ha), se observó que la contribución de la materia orgánica a través de acondicionadores y fertilizantes verdes es significativa y ayuda a mejorar las condiciones del suelo cuando se aplica la combinación fertilización comercial + zeolita + *M.pruriens*.

**Palabras claves:** Abonos verdes, *Mucuna*, Zeolita, Arroz, Nitrógeno

## ABSTRACT

Analysis of the efficiency of fertilization through the use of natural Zeolite and *Mucuna pruriens* in the rice crop (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions in microplots located in Parrita, Puntarenas, Costa Rica. **Objective:** apply a source of green manure and zeolite in rice crop in order to see the possibility of improving fertilization efficiency and nutrient absorption. **Method:** A dose of 152 g/m<sup>2</sup> (1.5 ton/ha) of dry and ground *M. pruriens* was applied, as well as a mineral source based on zeolite with a dose of 38.25 g/m<sup>2</sup> (382 kg/ha), in different treatments in combination or without commercial fertilization in micro-plots of rice cultivation in the area of Parrita, Puntarenas. **Results:** regarding yield (ton/ha), the best treatment was combined Zeolite + *M.pruriens* + commercial fertilization. Nitrogen absorption improved possibly due to the presence of Zeolite and *M. pruriens* for its qualities as physico-chemical conditioners and in the case of *M.pruriens* for its contribution of N. The C/N ratio, % of organic matter at ground level and content of K at leaf level, increased in all treatments and although the grain quality variable was not significant, it followed the same trend as yield. **Conclusion:** Despite not obtaining better yields than the national average, it was observed how the contribution of organic matter through conditioners and green fertilizers is significant and help improve soil conditions when applied.

**Key words:** Green manure, *Mucuna*, Zeolita, Rice, Nitrogen,

## Introducción

El arroz es uno de los granos que más aporte de vitaminas y minerales brinda y uno de los que más se consumen a nivel mundial y nacional; es cultivado en los cinco continentes, su consumo es cotidiano y parte del enriquecimiento de muchas culturas (Tinoco y Acuña, 2009). De esta forma, éste cultivo ha fortalecido sociedades desde épocas muy antiguas y está relacionado al patrimonio cultural, además en muchos países y culturas forma parte importante de la canasta básica (Vargas, 2010). Ha servido como fuente saludable y accesible para grupos sociales en pobreza en muchos países en vías de desarrollo (Romero, 2015). Los países del continente asiático más productores son: China, India, Indonesia, Bangladesh y Vietnam. En Europa: Italia, España, Rusia, Grecia y Portugal, en América: Estados Unidos, Brasil, Colombia, Perú y Argentina y en África: Egipto, Nigeria, Madagascar y Costa de Marfil (Tinoco y Acuña, 2009). El éxito como primera planta alimenticia de Asia se debe al hecho de que el arroz es una especie mucho más productiva que otros cereales, debido a que permite realizar varias cosechas cada temporada y, por otra parte, la productividad por hectárea cultivada es superior en comparación con otras fuentes de cereales o carbohidratos (De Bernardi, 2017).

En Costa Rica, el cultivo de arroz está representado por 36979 ha sembradas durante la campaña 2018-2019 (CONARROZ, 2019), siendo este el cultivo uno de los que cuenta con más extensión a nivel nacional. La región Chorotega es la cual registra mayor área sembrada (INEC, 2015 y CONARROZ, 2019). Aunque las áreas de siembra han disminuido desde 2014, siendo en ese año 58197 has a 36979 has en 2019, el rendimiento ha aumentado siendo el promedio nacional de 4.2 ton/ha (CONARROZ, 2019), lo cual es relativamente menor al promedio mundial (4.7 ton/ha), pero dista mucho del rendimiento que obtienen otros países como Australia, Egipto, Estados Unidos y Uruguay, los cuales obtienen rendimientos de 10.4, 8.8, 8.6 y 8.5 ton/ha respectivamente (FAOSTAT, 2018). Aún con el panorama anterior, para las condiciones locales es un cultivo con gran extensión y esto implica que se necesita mucha área para su siembra y esto requiere de la aplicación de fertilizantes químicos, lo cual trae consigo un impacto ambiental en mantos acuíferos y aguas superficiales por contaminación con nitratos especialmente.

Al ser uno de los cultivos que más se producen y consumen en Costa Rica, según datos del INEC, su producción se ha enfocado en aumentar el rendimiento y la calidad, como parte de la mitigación del cambio climático, además de asegurar la alimentación. La producción hasta hace unos años dependía de prácticas no adecuadas y cierta dependencia a productos químicos. Como consecuencia, se ha comprobado el desgaste de los suelos en sus propiedades físico-químicas y de fertilidad. El ente rector del arroz en Costa Rica (CONARROZ) y demás instituciones relacionadas con la agricultura como el Ministerio de Agricultura y Ganadería, así como las universidades públicas plantean un manejo más sostenible del suelo, manteniendo equilibrada la fertilidad y aumentando los rendimientos tratando de depender menos de insumos externos (Molina y Rodríguez, 2012). Uno de los elementos más limitantes y de mayor contaminación en las aguas es el nitrógeno por su movilidad en el suelo (Larios, 2009 y Kass, 2007) y, esto se acentúa de acuerdo a las características de cada suelo, puesto que, la absorción de nutrientes varían de manera significativa (Cordero, 1993), por ejemplo, está demostrado que la eficiencia de la absorción del nitrógeno (N), aumenta con la ayuda de coadyuvantes (Mora et al. 2014).

Como una propuesta de manejo sostenible del suelo y disminuir la contaminación por exceso de nitratos, se propone la utilización de Zeolita natural y *M.pruriens* como coadyuvantes de suelo. En el caso de la Zeolita natural la estructura está integrada por una red tridimensional surcada por una trama interna de poros y cavidades, y por dos unidades, la primaria y secundaria. La primaria y la secundaria es la más simple y consiste en un tetraedro de cuatro iones de oxígeno que rodean un ión central de

sílice (Si) o aluminio (Al), la aplicación de Zeolita como aditivo a los fertilizantes reduce de 20-40% la cantidad necesaria de estos para el adecuado desarrollo de los cultivos, por lo que disminuye significativamente el costo de la fertilización (Paredes et al. 2013) y además reduce la retención del ión nitrato por lo cual la contaminación en aguas subterráneas y superficiales se reduce.

Por otra parte la razón del uso de la *M.pruriens*, es que es una planta de fácil crecimiento en zonas tropicales húmeas (Brunner et. al, 2011) y ésta especie se vincularía directamente como un coadyuvante de suelo natural al aumentar la CICE aplicando de manera seca y molida como abono verde, además, tiene la ventaja de que aporta nutrientes, especialmente nitrógeno de manera que se libera lentamente. Las especies como la *M.pruriens* utilizadas como abonos verdes ejercen un papel importante en el reciclaje de otros nutrientes desde las capas profundas del suelo hacia las capas más superficiales (Hernández, 2004 y CENTA, 2012). Experimentar con Zeolita y *M.pruriens* como alternativas disponibles para el mejoramiento de la disponibilidad de los nutrientes en cultivo de arroz es relevante para los productores, quienes tienen una gran necesidad de ser competitivos y disminuir costos, además cada vez están más expuestos a contaminar las fuentes de agua, especialmente en arroz anegado. La elaboración del trabajo de investigación tiene como justificación evaluar si con la implementación de ésta estrategia en la fertilización, esto conlleva a la reducción en la aplicación de fertilizantes químicos, mejora las condiciones de fertilidad del suelo y se puede mejorar el rendimiento.

La importancia de realizar este experimento no solo reside en el mejoramiento de la eficiencia en el proceso de la nutrición del cultivo, sino también en brindar una reducción de la contaminación por fertilizantes y promover en el suelo una mejor disponibilidad de nutrientes de forma sostenible.

## Metodología

La investigación se realizó en los meses de diciembre a abril durante la época seca, bajo condiciones de riego propio bajo el sistema de inundación en la Bandera de Parrita, Puntarenas, Costa Rica. Temperatura promedio de 28/18°C (diurno/nocturno) y con una humedad relativa promedio de 75%. En cuanto al manejo agronómico fue realizado según protocolos y procedimientos establecidos por CONARROZ usando la variedad PALMAR-18 a una densidad de 2 qq semilla/ha, con un aporte de fertilizante en kg/ha de 100(N)-(25)P-K(60)-S(15). Se realizó la aplicación de herbicidas con un tratamiento químico con Paraquat (2,5 L/ha) para agotamiento de malezas previo a la siembra, un adicional de Paraquat (1L/ha) y un sello con Paraquat + Pendimetalina (1L/ha + 1,5 l/ha) una vez de establecido el terreno.

En términos de la investigación propiamente, fueron usados los siguientes 7 tratamientos en parcelas de 4x4 m<sup>2</sup> (2x2 m parcela efectiva):

Cuadro 1. Tratamientos usados para la respectiva investigación de efectividad de la *M.pruriens* y Zeolita en el cultivo de arroz.

Tratamiento	Descripción
T1	<i>M.pruriens</i>
T2	<i>M.pruriens</i> . + fertilización
T3	Zeolita
T4	<i>M.pruriens</i> .+ Zeolita
T5	Zeolita + fertilización
T6	Zeolita + <i>M.pruriens</i> + fertilización
T7	Testigo comercial (fertilización comercial)

Para cada tratamiento se usaron 5 repeticiones, quedando 35 parcelas de 16 m<sup>2</sup> para un total de 80 m<sup>2</sup> de parcela experimental efectiva por tratamiento.

En los tratamientos 3, 4, 5 y 6 la incorporación de la Zeolita fue a una dosis de: 382,5 kg/ha (dosis comercial) lo que equivale a 38,25 g/m<sup>2</sup>, de tal manera que se pesó e incorporó 612 g por repetición de 16 m<sup>2</sup> en cada tratamiento. En el caso de los tratamientos 2, 4, 5 y 6 en los que fue aplicada la *M.pruriens* esta aplicación se realizó una sola vez en la primera fertilización comercial a una dosis de 95,6 kg/ha, lo que equivale a 152 g/m<sup>2</sup> de tal manera que se pesó e incorporó 2432 g por repetición de 16 m<sup>2</sup> en cada tratamiento. Posteriormente se aplicó riego a capacidad de campo para favorecer la incorporación y mineralización de la Zeolita y la *M.pruriens*.

Se aplicó fertilizante en los tratamientos 2, 4, 5 y 7 según lo planificado y de acuerdo al manejo agronómico usual en cuanto a fertilización de la zona, lo anterior consistió en incorporar el equivalente de 100-25-60-15 Kg/ha de N-P-K-S según análisis de suelo previamente realizado en la zona.

Para ver los niveles de nutrimentos foliares se tomó en la etapa fenológica R4 y se tomó un análisis foliar individual por cada tratamiento y repetición. En la misma etapa fenológica se tomaron muestras para la determinación de los niveles de los nutrimentos, especialmente el Nitrógeno.

Para evaluar los cambios a nivel de nutrimentos en el suelo se realizó un nuevo análisis de suelo del tipo químico completo, materia orgánica y Nitrógeno total, donde fue valorado el cambio de los nutrimentos con respecto al muestreo ya efectuado inicialmente por CONARROZ.

Con el fin de evaluar la calidad molinera y rendimiento en toneladas por hectárea, se realizó la cosecha de la granza en la parcela o área de evaluación de forma manual, teniendo en cuenta cosechar por repetición y por tratamiento.

En síntesis la elaboración del trabajo con parcelas se realizó comparando tratamientos con Zeolita y *M.pruriens*, los cuales se midieron mediante análisis foliares, análisis de suelo del tipo químico completo, C:N, % de materia orgánica, productividad y calidad de grano, de tal forma que se hiciera un conglomerado de variables, ver la respuesta y correlacionar con el tipo de tratamiento dado. Las variables dependientes medidas fueron: rendimiento, calidad de grano, contenido de elementos en el suelo, absorción de nutrientes, materia orgánica del suelo y cantidad de nutrimentos en el suelo, mientras las variables independientes fueron: *M.pruriens* y Zeolita.

El diseño experimental seleccionado fue de bloques completos al azar para controlar posibles fuentes de variación en el suelo. El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico INFOSTAT® y se realizó un ANOVA. Posteriormente, dado que, se compararon categorías y no dosis variables, se aplicó la prueba de Duncan con un error experimental de: 10% (90% de confiabilidad), lo anterior, por ser una prueba pequeña y de corte preliminar. En el caso de las variables referenciales se realizó comparaciones descriptivas con gráficos y tablas.

## Resultados

Inicialmente se determinó los cambios en pH, acidez, CICE, %SA, nutrimentos, relación C/N, materia orgánica y nitrógeno total en el suelo cultivado con arroz al ser enmendado con *M.pruriens* y Zeolita natural, mediante el análisis químico de suelo (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparativo en los valores iniciales y finales en los valores de pH, acidez, CICE, %SA, C/N y %MO en el suelo, bajo los tratamientos efectuados. Parrita, Puntarenas, Costa Rica. 2017.

Tratamientos	pH		Acidez		CICE		%SA		C/N		%MO	
	5.5-6.5		0.3-1		5-40 cmol(+)/L		10-30%		8-20		2-5%	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<i>M.pruriens</i> (T1)	6,1	5,8	0,12	0,19	33,14	29,52	0,4	0,6	8,1	8,8	1,62	2,3
<i>M.pruriens</i> +fert. (T2)	6,1	5,9	0,12	0,19	33,14	29,14	0,4	0,7	8,1	8,4	1,62	1,9
Zeolita (T3)	6,1	6,0	0,12	0,18	33,14	30,80	0,4	0,6	8,1	7,6	1,62	1,9
<i>M.pruriens</i> +Zeol (T4).	6,1	5,9	0,12	0,19	33,14	29,83	0,4	0,6	8,1	7,9	1,62	1,9
Zeol.+fert (T5)	6,1	6,2	0,12	0,11	33,14	32,90	0,4	0,3	8,1	7,5	1,62	1,7
<i>M.pruriens</i> +Zeol.+fert (T6)	6,1	5,8	0,12	0,18	33,14	30,20	0,4	0,6	8,1	8,1	1,62	2,0
Testigo commercial (T7)	6,1	5,9	0,12	0,18	33,14	30,60	0,4	0,6	8,1	8,5	1,62	1,8

Se presentó una leve disminución generalizada en pH y CICE en todos los tratamientos, excepto en el tratamiento con Zeolita+fertilización, también en éste mismo tratamiento y con respecto a la acidez, hubo disminución en lugar de incremento. En %SA se observa un leve incremento en casi todos los tratamientos, excepto en el de Zeolita+fertilización, lo que coincide con los niveles de acidez encontrados al final del experimento en el mismo tratamiento. En la relación C/N, se disminuyó la relación en los T3, T4 y T5, en los cuales el denominador común fue usar Zeolita. Finalmente y como resultado importante queda en evidencia que la materia orgánica incrementó sus contenidos en todos los tratamientos; los incrementos con menor magnitud se obtuvieron donde solo se aplicó zeolita (T5) o sólo se utilizó fertilización comercial (T7). A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto al contenido de nutrimentos presentes en el suelo en el cultivo de arroz bajo los tratamientos efectuados, con el fin de conocer la cantidad de nutrimentos al inicio versus al final del experimento y comparar entre tratamientos.

Cuadro 3. Comparativo de contenido de nutrimentos en el suelo, inicio versus final del experimento. Parrita, Puntarenas, Costa Rica. 2017.

Nutrimento	Tratamientos	<i>M.pruriens</i>		<i>Zeolita</i>	<i>M.pruriens</i> + <i>Zeol.</i>	<i>Zeol. + fert</i>	<i>M.pruriens</i> + <i>Zeol.+ fert</i>	Test. comerc.	
		Inicial	Final						
N	Rangos óptimos* 0,5-0,2	0,14	0,18	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,15
Ca	4-15	23,1	20,8	20,4	21,7	20,8	23,4	21,1	21,5
Mg	1-6	9,8	8,3	8,3	8,6	8,5	9,1	8,6	8,5
K	0,2-0,8	0,18	0,33	0,33	0,31	0,36	0,30	0,36	0,34
P	10-50	12	13	13	12	13	11	13	12
Zn	2-10	2,6	2,5	2,1	2,5	2,5	2,3	2,6	3,0
Mn	5-50	27	17	19	15	16	12	19	21
Cu	1-20	14	11	11	11	11	10	11	11
Fe	10-50	141	122	121	107	108	91	97	107

\*Fuente: Molina E. 2002

En términos generales los valores de N, P y K aumentaron los contenidos al final del experimento, mientras que para los elementos Ca, Mn, Zn, Cu y Fe disminuyeron los contenidos. En cuanto a los contenidos inicial versus final por cada nutrimento individual, se observaron cambios significativos en los contenidos en Ca, Mg, P, Mn y Fe, mientras que, en el resto de los nutrimentos no se observaron cambios significativos. Para Ca y Mg, los contenidos disminuyeron en todos los tratamientos excepto en el tratamiento con Zeolita + fertilización, quien mantuvo los mismos niveles. Para K, aumentó en casi todos los tratamientos, siendo el T4 (*M.pruriens* + Zeolita) y T6 (Zeolita + *M.pruriens*. + fertilización) los que más aumentaron los niveles. Para P y Zn, todos los tratamientos incrementaron los niveles, excepto en el testigo. Para Mn y Fe, todos los tratamientos disminuyeron los niveles.

Finalmente, para Cu, todos los tratamientos aumentaron levemente o se mantuvieron igual, excepto en el testigo. En la mayoría de los casos los nutrientes en el tratamiento testigo presentaron los niveles más bajos al final del experimento, tal es el caso de N, P, Zn, Mn, Cu y Fe, además en otros nutrientes como Ca y Mg fueron también dentro de la categoría más baja, solamente en el elemento K hubo un incremento muy marcado, debido a la aplicación de los tratamientos efectuados.

Cuadro 4. Contenidos de nutrientes foliares en la etapa R4 de crecimiento. Parrita, Puntarenas, Costa Rica. 2017.

Nutriente	Rangos óptimos***	Tratamiento						
		<i>M.pruriens</i>	<i>M.pruriens</i> + fert.	Zeolita	<i>M.pruriens</i> + Zeol.	Zeol. + fert	<i>M.pruriens</i> + Zeol.+ fert	Test. comerc.
N**	2,6-4,8							
		0,81	0,74	0,81	0,88	0,76	0,72	0,76
P*	0,1-0,4							
		0,13	0,10	0,16	0,14	0,08	0,08	0,10
K*	1-3,5							
		1,82	1,87	1,80	1,85	1,66	1,66	1,55
Ca*	0,2-4,0	0,23	0,24	0,21	0,24	0,24	0,26	0,24
Mg*	0,15-0,7	0,14	0,13	0,14	0,15	0,13	0,19	0,17
S*	0,15-0,30	0,13	0,10	0,16	0,14	0,08	0,08	0,10
	ppm							
Zn**	18-50	23	22	29	26	20	26	26
Cu*	7-20	11	10	12	12	9	15	15
Mn**	40-800	324	468	320	374	391	431	449
Fe*	75-300	972	1318	862	1244	1580	4451	4672
B*	<4	5	6	4	5	6	11	11

\*\*\*Fuente: Correndo y García (2012),

\* p < 0.1 en contenidos finales

\*\*p > 0.1 en contenidos finales

Para todos los tratamientos se presentó que los contenidos de N están por debajo de los rangos óptimos. Para P, los contenidos son adecuados, siendo el *M.pruriens*, Zeolita y *M.pruriens* + Zeolita los de mejor contenido mientras para el resto de los tratamientos están por debajo de lo recomendado. Para K, Ca, Mg y S los contenidos son adecuados, aunque están en el límite inferior de los rangos óptimos. En el caso del Zn, se presentaron contenidos similares llegando al límite superior. Para Cu, se presentaron contenidos similares llegando al límite inferior. Para el caso de Mn, los valores van desde 324 a 468 ppm, siendo el tratamiento con *M.pruriens* + fertilización el de mayor contenido y el tratamiento solamente con *M.pruriens* el de menor. Para Fe, los contenidos van desde 862 a 4672 siendo el testigo comercial el de mayor contenido y el tratamiento solamente con Zeolita el de menor. Finalmente, para el caso del B, los contenidos fueron levemente superiores a lo recomendado, siendo los tratamientos con *M.pruriens* + Zeolita+ fertilización y el testigo los más altos.

Para determinar la productividad del cultivo del arroz, se utilizó las variables de rendimiento y calidad molinera del grano. Los resultados mostraron que el tratamiento de mayor rendimiento fue el que usó *M.pruriens* + Zeolita + fertilización (T6) y con menor rendimiento fue el que usó solamente *M.pruriens* (p<0.1), según la figura 1 a continuación:

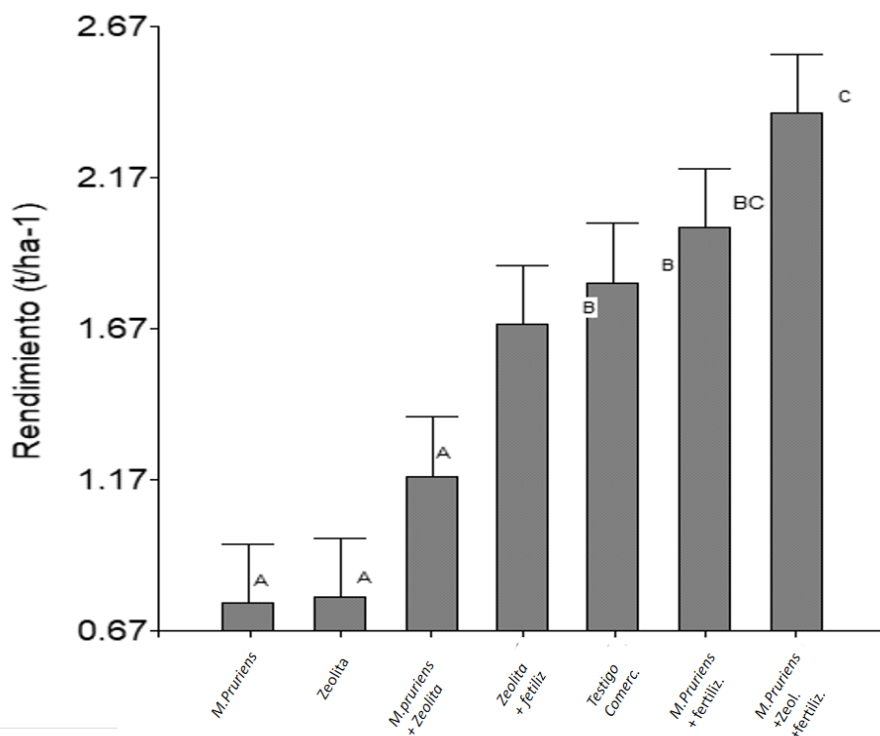


Fig. 1. Rendimiento del cultivo de arroz, variedad PALMAR-18, en los diferentes tratamientos efectuados, Parrita, Puntarenas, Costa Rica, 2017.

En cuanto a la calidad molinera (calidad de grano), no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.1$ ) sin embargo, la mejor calidad encontrada fue en el tratamiento *M.pruriens* + Zeolita + fertilización y con menor calidad en el tratamiento que usó solamente *M.pruriens*, lo cual hubiera podido relacionarse con lo obtenido en la figura 1 en cuanto a rendimiento.



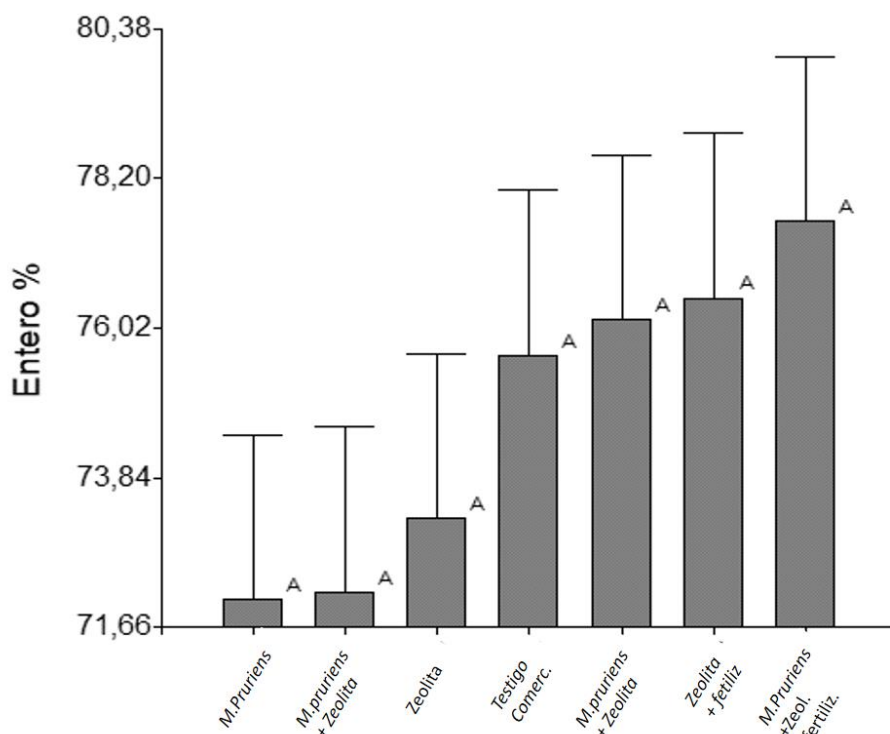


Fig. 2. Calidad molinera del cultivo de arroz, variedad PALMAR-18, en los diferentes tratamientos efectuados, Parrita, Costa Rica, 2017.

## Discusión

Con relación a los resultados de este estudio, las condiciones del suelo al inicio del ensayo fueron moderadamente fértiles, sin embargo, con contenidos bajos de materia orgánica (cuadro 2 y 3). En el cuadro 2 se muestra las variaciones de las variables pH, acidez, CICE, C/N y %MO, las cuales siguen siendo adecuadas para el desarrollo del cultivo al final del experimento, sin embargo, un resultado importante es que se evidencia la incorporación de materia orgánica en todos los tratamientos, especialmente en los que llevaron adición de *M.pruriens* (T1: *M.pruriens* y T6: *M.pruriens*+zeolita+fertilización). Para el caso del T6:*M.pruriens*+zeolita+fertilización coincide con ser el tratamiento más productivo (figura 1) y aunque estadísticamente no fue significativo para la variable calidad, hay cierta tendencia a ser el mejor en esa variable también. Es posible que para ver una tendencia y correlación real se necesite mayor cantidad de muestra en próximos experimentos para observar si hay un aumento en la probabilidad.

Según lo argumentado anteriormente, la incorporación de la Mucuna aumentó la materia orgánica. La utilización de *M.pruriens* contribuye mejorando la fertilidad del suelo por dos vías: fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo y por el aporte del material vegetativo, el cual se transforma en materia orgánica, mejorando la parte física, química y biológica del suelo (Arias *et al.* 2017). Otros estudios registran aportes de N en 78.7 Kg/ha, 1668.3 Kg/ha de C, 11 Kg/ha de P y rendimientos de 9.2 ton/ha en frijol (Sosa, Sanchez y Sanclemente, 2014). Sanclemente (2009) obtuvo un incremento de un 59% de rendimiento en comparación al tratamiento testigo. Así como otros estudios que reportan aportes significativos en materia orgánica, nitrógeno e incrementos en rendimiento (Gallego, 2012, Baijukya, De Ridder y Giller, 2004)

Por otra parte el efecto al añadir zeolita como por ejemplo en el T6:*M.pruriens*+zeolita+fertilización, posiblemente, además de la incorporación de materia orgánica, se pudo dar un efecto al retener



muchas veces el peso molecular en contenido de agua, característica que es propia de la zeolita como mineral y de aquí en gran parte el hecho de que el T6: *M.pruriens*+zeolita+fertilización haya sido el de mayor rendimiento. La variable de retención de agua no fue medida bajo las condiciones de éste experimento, pero se recomienda realizar en próximos experimentos para comprobar ésta hipótesis. Siguiendo la misma línea, es conveniente rescatar que los tratamientos que usaron zeolita presentaron una mayor recuperación y aprovechamiento de N y mantenimiento de la CICE, tal y como se describió en el cuadro 2, 3 y 4, según Obregón *et al.* (2015), las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos que por su alta capacidad de intercambio catiónico y afinidad por el  $\text{NH}_4^+$  se han utilizado con éxito en la reducción del tránsito de  $\text{NO}_3^-$  hacia la zona saturada en suelos arenosos. El uso de estos minerales trae múltiples beneficios, entre ellos, aumentos entre el 5 y 44% en el rendimiento de diferentes cultivos por ejemplo avena, trigo, así como la reducción del contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el lixiviado en relación con el  $\text{NH}_4^+$  del suelo, de esta forma aumentando la capacidad de retención de nutrientes y por ende su aprovechamiento. Cárdenas y Touma (2011) señalan que, la zeolita al ser un mineral soluble atrapa los nutrimentos y los pone fácilmente al alcance de la planta, lo cual evita que, por efecto del sol, exceso de agua y características adversas del suelo la formulación de elementos suministrados se pierda en un buen porcentaje o se fije antes de ser asimilado por la raíz

En cuanto a rendimiento y para todos los tratamientos efectuados, ningún tratamiento supera los 4.2 ton/ha que presenta el promedio de producción nacional de arroz para 2019, por lo cual debe haber otros factores físico-químico y biológicos que se deben mejorar para llegar a ese estándar o superarlo. A pesar de lo anterior, queda demostrado que una ruta a seguir es el mejoramiento del suelo a través de la incorporación de materia orgánica y acondicionantes del suelo que promuevan la CICE y la relación C/N, así como la materia orgánica como se observó en este experimento donde los tratamientos que lo incorporaron fueron los de mejor resultado en las variables agronómicas medidas.

Es importante rescatar que el segundo tratamiento más productivo fue el que usó *M.pruriens*+fertilización, para este caso específico es posible que, la aplicación de la *M.pruriens* al momento de la siembra colaboró en la conservación de las características químicas del suelo, tal como sucedió con el tratamiento de *M.pruriens*+Zeolita+fertilización y se muestra en el cuadro 2 y 3. Aunque propiamente la *M.pruriens* no es un retenedor de humedad importante como lo es la zeolita, puede mejorar las características físicas del suelo para conservar la humedad, lo cual también puede haber influido en el resultado final en conjunto con el aporte de la fertilización química. Para el caso del Nitrógeno, al ser un nutrimento tan importante en procesos de crecimiento, rendimiento, fisiología vegetal y posible contaminación, fue muy limitada su cantidad en el suelo (cuadro 3) y se confirma poca absorción en todos los tratamientos (cuadro 4). No así para el elemento K, el cual aumentó su contenido foliar en todos los tratamientos, por lo cual, se concluye que aplicar *M.pruriens* o Zeolita, solos o en combinación mejoran sus contenidos en la planta, posiblemente por una relación en cuanto a mantener humedad en el suelo y por ende una mejor disponibilidad de éste elemento tan móvil en el mismo.

En cuanto a la relación C/N en el suelo, los valores obtenidos para todos los tratamientos estuvieron llegando al límite inferior, siendo los tratamientos *M.pruriens*, *M.pruriens*+fertilización y Testigo los más altos, en estos tres tratamientos citados el denominador común fue la presencia de *M.pruriens*, al menos en dos de ellos, lo cual puede interpretarse según Flores (2010) y Sanclemente *et al.* (2013), que cuando la relación C/N es baja significa que hay mucho nitrógeno y poco carbono. El Nitrógeno es liberado por los abonos verdes como la *M.pruriens* en éste caso y como es usual en otras investigaciones (Cobo *et al.*, 2002, Handayanto, Cadish y Giller 1994), una parte de ese nitrógeno es tomado por los microorganismos, otra parte se incorpora al suelo y otra se absorbe por las plantas. Para el caso de éste experimento podemos interpretar que, los valores globales fueron bajos lo cual indica que hubo una liberación pronta de N de tal forma que también podría tener un efecto a mediano y largo plazo en cuanto a mantener por más tiempo contenidos de C y N para sostener la fertilidad

del suelo. Lo señalado anteriormente se puede implementar en la mayoría de suelos agrícolas, puesto que, es común encontrar suelos degradados, los cuales pierden materia orgánica y carbono al mismo tiempo, dando como resultado erosión en la parte química y microbiológica del suelo. Referente a lo anterior Castro (2016) señala que, con la incorporación de abonos verdes el rendimientos de cultivos puede ser mayores, incluso en intervalos cortos de tiempo entre incorporación del abono y siembra del cultivo, sobre todo en condiciones tropicales de altas temperaturas y humedad, las cuales contribuyen con la descomposición de la materia orgánica.

En cuanto a contenidos foliares. En el contenido de P absorbido se observaron diferencias significativas ( $p < 0.1$ ), siendo los tratamientos con *M.pruriens*, Zeolita y *M.pruriens*+Zeolita los de mayor absorción. El P es importante porque aparte de tener influencia en muchos procesos fisiológicos de la planta como en el enraizamiento, construcción del ADN, floración entre otros, también es constituyente estructural de los tejidos y membranas, el 25% del fósforo absorbido se queda retenido en la paja y el resto queda en el grano (Amador y Bernal, 2012).

Con respecto al contenido foliar de K en el cultivo de arroz, se obtuvo diferencias significativas ( $p < 0.1$ ), aumentando el contenido foliar en todos los tratamientos. Aunque en la variable calidad de grano no se vio reflejada una relación entre el contenido de K y el rendimiento. El K es importante porque cerca del 19% del potasio se acumula en el grano y el 81% queda retenido en la paja, además es un elemento esencial para el llenado de grano y calidad del mismo (Molina y Rodríguez 2012, Amador y Bernal 2012). Para el elemento Ca, el tratamiento que usó Zeolita + Fertilización fue el que presentó mayor absorción, demostrando que la zeolita en este estudio tuvo un efecto positivo para este elemento. Pérez (2014) señala a las Zeolitas como acondicionadores de la fertilidad química de los suelos, no así de la fertilidad biológica, sin embargo, se debe tener presente que las Zeolitas tienen algún efecto en las propiedades físicas del suelo, ya que, el uso de este material mejora la fluidez del agua por la reducción de la densidad aparente y puede inducir a una mayor absorción de iones.

Para los elementos Mg y S, estos elementos poseen diferencias significativas ( $p < 0.1$ ) en los contenidos absorbidos. Para el caso del Mg, el que obtuvo mayor absorción fue el T6: *M.pruriens*+Zeolita+fertilización, lo cual coincide con el mejor rendimiento y pudo haberlo influenciado de cierta manera, principalmente porque se conoce que el Mg es importante para los procesos enzimáticos de la fotosíntesis (Cakmak, Hengeler y Marschner 1994). Para el caso del S hubo diferencias significativas ( $p < 0.1$ ), pero los contenidos estuvieron por debajo del rango óptimo. Los nutrientes como magnesio y azufre están involucrados en la producción de clorofila y por consiguiente es necesario para la síntesis de proteínas, incrementa la eficiencia en el uso del nitrógeno, y tiene efectos positivos sobre el rendimiento de las plantas (Kass 2007 y Chen 2017).

Para los micronutrientes Zn y Mn, no hubo diferencias significativas, pero para el elemento B si las hubo ( $p < 0.1$ ) donde los tratamientos *M.pruriens*+Zeolita+fertilización y testigo comercial absorbieron mayor cantidad. Estos elementos no dejan de ser importantes para la planta de arroz, según Kass (2007), las funciones e importancia que tienen en las plantas son: enzimáticas, en reacciones de reducción-oxidación, en síntesis, de clorofila, su participación en la fotosíntesis, en la influencia que tienen en el crecimiento de brotes nuevos y en la fijación de nitrógeno atmosférico.

Finalmente, en el elemento Hierro hubo diferencias significativas ( $p > 0.1$ ), siendo el testigo comercial el de mayor cantidad, es posible que la alta cantidad de este elemento se deba al material parental formador del suelo al ser un inceptisol con condiciones aluviales, pero es muy posible que ese contenido esté ocluido en las arcillas por lo que no está disponible para las raíces. Para la calidad molinera (grano entero), no se obtuvo diferencias significativas ( $p > 0.1$ ), sin embargo, el T6: Zeolita + *M.pruriens* + fertilización tuvo la tendencia a ser el de mejor calidad y el tratamiento con el uso solo de *M.pruriens* el de menor calidad. Aún con este resultado resalta el papel de incorporar

*M.pruriens* para favorecer la cantidad de materia orgánica y muy posiblemente pueda colaborar en obtener una mejor calidad molinera, esto por cuanto las prácticas de incorporación de abonos verdes y barbechos, mejoran las propiedades biológicas del suelo, es decir, incremento de materia orgánica y aumento de la diversidad de mesofauna en el suelo (Romo 2008).

Con los resultados obtenidos en éste estudio se observa como el suelo estudiado necesitaba una incorporación de materia orgánica, la cual se ha perdido por el uso agrícola intensivo con el cultivo de arroz. Con esta práctica es posible que aumente el rendimiento y así mejorar la rentabilidad productiva, lo cual cambiaría el contexto de la fertilización química y sumado a un aporte de beneficios en la parte ambiental al aplicar un biofertilizante como es la *M.pruriens* y un acondicionante de suelo como es la zeolita. Sé recomienda investigar en cuanto a la aceptación del mercado en cuanto a este tipo de biofertilizantes a base de abonos verdes y acondicionantes a base de zeolita, puesto que, deberían incluirse en el paquete de manejo y debe haber un análisis económico en comparación con la fertilización tradicional para determinar si existe margen para reducir los costos de producción.

### Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la Corporación Arroceras Nacional (CONARROZ) y a la estudiante Nadia Fernández Picado.

### Referencias

- Amador, J.C, Bernal, I.E. (2012). *Curva de absorción de nutrientes en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) var. Venezuela 21, con un suelo vertisol bajo condiciones del vale de Sébaco, Nicaragua.* (Tesis de Licenciatura). Universidad El Zamorano, Facultad de Agronomía, Honduras.
- Arias, A., Brenes, P., Sánchez, L. & Peña, W. (2017). Mineralización de *Mucuna pruriens* y *Crotalaria juncea* en dos órdenes de suelos en Costa Rica. *Repertorio Científico*, 20(2), pp. 91-96.
- Baijukya, F., De Ridder, N., & Giller, K. (2004). Nitrogen release from decomposing residues of leguminous cover crops and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. *J. Plant Soil.*, 279, pp. 77 - 93.
- Brunner, B., Beaver, J. & Flores, L. (2011). Hoja informativa *Mucuna*. Proyecto de Agricultura Orgánica Z-NRCS-007. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/9154627/mucuna-pruriens-agricultura-organica-puerto-rico>
- Cakmak, I., Hengeler, C. & Marschner, H. (1994). Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany*, 45, pp. 1245-1250.
- Cárdenas, D. & Touma, M. (2011). Evaluación en el cultivo de arroz del efecto de las briquetas de urea con diferentes concentraciones de Zeolita en dos diferentes tipos de siembra: método al voleo y método de trasplante en la zona Febres Cordero - Provincia de los Ríos (Tesis de Grado). Escuela Superior Politecnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y

Ciencias de la Producción, Ecuador.

- Castro, E. (2016). Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Colombia.
- CENTA (2012). Abonos Verdes. Guía Técnica 11. Recuperado de: [https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable\\_11.pdf](https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_11.pdf)
- Chen, J. (2018). La función del magnesio en el cultivo de plantas. Recuperado de: <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Céspedes, S., Zuñiga, A., Mendoza, A., Montero, K. & Peña, W. (2017). Evaluación de la incorporación de *Mucuna pruriens* y *Crotalaria spectabilis*, sobre el aporte y absorción de nutrientes en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Repertorio Científico, 22(1): 29-37.
- Cobo, J.G., Barrios, E., Kass, D.C.L. & Thomas R.J. (2002). Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant and Soil*, 240, pp. 331-342. <https://doi.org/10.1023/A:1015720324392>
- Cordero, A. (1993). Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial Universidad de Costa Rica: San José, Costa Rica.
- Correndo, A.A. & García, F.O. (2012). Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos Extensivos: Archivo Agronómico #14I. PNI (International Plant Nutrition Institute). 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)
- De Bernardi, L (2017). Perfil del mercado de arroz. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. Recuperado de: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/areas/regionales/archivos/000030 Informes/000020 Arroz/000021 Perfil%20del%20Arroz%20-%202017.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/archivos/000030 Informes/000020 Arroz/000021 Perfil%20del%20Arroz%20-%202017.pdf)
- FAOSTAT (2018). Estadísticas anuales del cultivo de arroz en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/arroz/es/>
- Flores, J. (2010). Agricultura Ecológica Manual y Guía Didáctica. Mundi-Prensa: Madrid, España.
- Gallego, J. (2012). Efectos de dos abonos verdes sobre la mineralización del nitrógeno y la dinámica de las bacterias oxidantes del amonio y del nitrito en un ciclo productivo de maíz (*Zea maíz* L). (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agrarias, Colombia.
- Handayanto, E., Cadish, G. & Giller, K.E (1994). Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of the prunings and incubation methods. *Plant Soil*, 160, pp. 237-248.
- Hernández, J.C. (2004). *Mucuna*: una alternativa para mejorar suelos y combatir malezas. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Recuperado

de: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/brochure\\_mucuna.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/brochure_mucuna.pdf)

INEC (2015). VI Censo Nacional Agropecuario Cultivos agrícolas, forestales y ornamentales. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: [https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01\\_atlas\\_estadistico\\_agropecuario\\_2014.pdf](https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01_atlas_estadistico_agropecuario_2014.pdf)

Kass, C.L. (2007). Fertilidad de suelos. EUNED: San José. Costa Rica.

Larios, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. Revista Archivo Médico de Camaguey. 13(2). Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552009000200017](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000200017)

Mora, S., Gavi, F., Tijerina, L., Pérez, J. & Peña, J.J. (2014). Evaluación de la recuperación del nitrógeno y fósforo de diferentes fuentes de fertilizantes por el cultivo de trigo irrigado con aguas residuales y de pozo. Acta Agronomica, 63(1), pp.25-30. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.39552>

Molina, E. (2002). Análisis de suelo y su interpretación. Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR: San José, Costa Rica.

Molina, E. & Rodríguez, J.H. (2012). Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrientes en arroz var. CFX 18 En Guanacaste. Agronomía Costarricense, 36(1), pp. 39-51. [DOI 10.15517/RAC.V36I1.9963](https://doi.org/10.15517/RAC.V36I1.9963)

Obrégón-Portocarrero, N., Díaz-Ortiz, J.E, Daza-Torres, M.C. & Aristizabal-Rodríguez, H.F. (2016). Effect of zeolite application on nitrogen recovery and maize yield. Acta Agronómica, 65(1), pp. 24-30.

Paredes, R., Ramírez, A., Osuna, E.S., Alamilla, P. & Mandujano, A. (2013). Zeolita natural: Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México. INIFAP. Recuperado de: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3919/CIRCE\\_010208153800039686ok.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3919/CIRCE_010208153800039686ok.pdf?sequence=1)

Pérez, M.F. (2014). Evaluación de la Zeolita natural utilizada como una tecnología productiva y limpia, aplicada al pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp) como un complemento en el uso de los fertilizantes nitrogenados. Costa Rica. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Área Académica Forestal, Costa Rica.

Romero, R. (2015). Respuesta de diferentes poblaciones de *Leptochloa spp* a las aplicaciones de herbicidas de ACC asa utilizados en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) (Tesis de Grado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Ecuador.

Romo, D. (2008). Efecto de cinco leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura, para la producción de maíz duro (*Zea mays*) en el sector de mascarilla-Carchi. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Ecuador.

Sancllemente, O.E. (2009). Efecto del cultivo de cobertura y abono verde, *Mucuna pruriens*, en las algunas propiedades biológicas de un suelo Typic Haplustalfs cultivado con maíz dulce (*Zea*

- mays* L.) en la zona de ladera del municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Rev. Bras. Agroec., 4(2), pp. 4133-4138.
- Sanclemente, R., Oscar, E., Prager, M. & Beltrán, R. (2013). Aporte de Nitrógeno al suelo por *Mucuna pruriens* y su efecto sobre el rendimiento de maíz dulce (*Zea mays*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 4(2), pp. 149-155. <https://doi.org/10.22490/21456453.978>
- Sosa, B.A., Sánchez, M. & Sanclemente, O.E. (2014). Influencia de abonos verdes sobre la dinámica del nitrógeno en un Typic Haplustert del Valle del Cauca, Colombia. Acta Agronómica, 63(4), pp. 343-351.
- Tinoco, R. & Acuña, A. (2009). Cultivo de Arroz: Manual de Recomendaciones Técnicas. INTA. Recuperado de: [http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/2018/Cultivo\\_de\\_arroz\\_Tinoco\\_2009\\_min\\_edited.pdf](http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/2018/Cultivo_de_arroz_Tinoco_2009_min_edited.pdf)
- Vargas, J.P. (2010). El arroz y su medio ambiente. In: Degiovanni Beltramo, Víctor M.; Martínez Racines, César P.; Motta O., Francisco (eds.). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura T