

Análisis de la dinámica del aprovechamiento del agua y del nitrógeno con mezclas de zeolita durante el crecimiento vegetativo del maíz (*Zea mays*) en un suelo Andisol de la zona de Poás de Alajuela

Raúl Andrés Blanco Espinoza¹, Paola Brenes Rojas² & Wagner Peña³

1. TFG Bachillerato Ingeniería Agronómica, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; raul23blaes@gmail.com

2. Vicerrectoría de investigación, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; paolarjs@gmail.com

3. Cátedra de Gestión Sostenible de Suelos. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. UNED, Universidad Estatal a Distancia. Apartado postal 474-2050. San Pedro, San José, Costa Rica; wpena@uned.ac.cr

Resumen.

Con una creciente población mundial y una reducción significativa en las tierras de cultivo, es de suma importancia la eficientización de la agricultura, ya sea en el aprovechamiento del agua y en el uso correcto de los fertilizantes químicos, en especial las fuentes nitrogenadas. Por este motivo, se evaluó la zeolita como un mejorador en el aprovechamiento del agua, por medio de la reducción de la evapotranspiración y como eficientizador de los fertilizantes nitrogenados, reduciendo de esta forma su uso. El ensayo experimental requirió de un cultivo indicativo (maíz), basado en cinco tratamientos (TA: 100% Fertilizante, TB: 25%Z+75% ½ fertilizante, TC: 25%Z+75% fertilizante, TD: 25%Z+75% doble fertilizante, TE: 100%Z+100%fertilizante), con 15 repeticiones, para poder evaluar el consumo de agua y pesos frescos y secos, además de análisis químico de suelo, para medir el remanente de N y análisis químico foliar, para observar el consumo de nutrimento, también se evaluó la relación C/N, para evidenciar la influencia del mineral en la microbiota del suelo. Los resultados, demuestran que a pesar de que en los primeros 21 dds existe diferencia estadística entre los tratamientos, para las demás mediciones (42 y 70 dds) ocurre todo lo opuesto, aspecto muy similar se presenta en el desarrollo de biomasa, donde no se evidencia diferencia estadística. En cuanto a presencia de N remanente, los tratamientos con el porcentaje más altos son el A y E, presentando estos a la vez una mayor cantidad de N foliar, mientras que en lo que a la relación C/N, la más elevada la presentó el tratamiento B (>10) que, a la vez, posee la menor cantidad de fertilizante.

Palabras clave.: Eficientización, evapotranspiración, zeolita, fertilizante, nitrógeno, agua, C/N.

Abstract.

With a growing world population and a significant reduction in farmland, the efficiency of agriculture is of utmost importance, both in the use of water and in the correct use of chemical fertilizers, especially nitrogenous sources. For this reason, it is that zeolite was evaluated as an improver in the use of water, through the reduction of evapotranspiration and as an efficientizer of nitrogen fertilizers, thus reducing its. The experimental trial required an indicative crop (corn), based on five treatments (TA: 100% Fertilizer, TB: 25% Z + 75% ½ fertilizer, TC: 25% Z + 75% fertilizer, TD: 25% Z + 75% double fertilizer, TE: 100% Z + 100% fertilizer), with 15 repetitions, to be able to evaluate the consumption of water and fresh and dry weights, in addition to chemical analysis of the soil, to measure the remnant of N and foliar chemical analysis To observe the nutrient consumption, the C / N ratio was also evaluated, to show the influence of the mineral on the soil microbiota. The results show that despite the fact that in the first 21 days there is a statistical difference between the treatments, for the other measurements (42 and 70 days) the opposite occurs, a very similar aspect occurs in the development of biomass, where there is no evidence statistical difference. Regarding the presence of remaining N, the treatments with the highest percentage are A and E, presenting these at the same time a greater amount of foliar N, while in terms of the C / N ratio, the highest is presented treatment B (> 10) which, at the same time, has the least amount of fertilizer.

Introducción.

Los problemas que generan las fuentes nitrogenadas a nivel agrícola, son ampliamente conocidos, ya sean estos por su poco aprovechamiento o por la contaminación ambiental que producen, además de ser uno de los nutrientes más requeridos en la agricultura (Food and Agriculture Organization [FAO], 2015). Efectos como la volatilización del amoníaco, perdiéndose hacia la atmósfera y la emisión de productos por la desnitrificación (N_2 , N_2O y NO), reducen el contenido de este nutriente en el suelo, acentuándose esta pérdida a un exceso de humedad en el suelo, ocasionando lixiviación de nitratos (Verhulst, Francois y Govaerts, 2015). Importantes pérdidas por volatilización, lixiviación, desnitrificación, escurrimiento o emisiones de N_2O son llevadas por el N, donde en Estados Unidos de Norte América del total de este nutriente utilizado en el maíz, solamente entre un 40 y 60% es aprovechado (Grassini y Casman, 2012), mientras que en Colombia entre un 30 y 35 % del N aplicado al café es volatilizado (Leal, Salamanca y Sadeghian, 2007); en Argentina hasta un 11,7% del N en forma urea es volatilizado (Barbieri, Echeverría y Sainz, 2018) y en Costa Rica se estima un 57% de NO_3 lixiviado del total aplicado en la producción de café (Ávila, Dambrine, Harmand y Jiménez, 2004). Con respecto a la dinámica del aprovechamiento del agua, en la agricultura se consume el 70% del agua que se extrae en el mundo (Banco Mundial [BM], 2019), creciendo cada día la escasez y mal aprovechamiento del agua dulce, provocando una competencia más aguda y grave entre los sectores agrícolas, industrial y de servicios urbanos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2017). Esto convierte al agua agrícola en un bien público estratégico, donde su uso eficiente, permitiría evitar el desperdicio de un gran volumen, sirviendo para mejorar las condiciones para los demás sectores; y repercutiendo directamente en una mayor productividad y oferta de alimentos, aspecto trascendental para una población en crecimiento, donde el hambre y la desnutrición repercuten seriamente (IICA, 2017).

Materiales y métodos

El área de estudio se ubicó en el caserío de Santa Rosa, distrito de San Rafael. Sus coordenadas son: latitud Norte $10^{\circ}06'02,84''$ y longitud Oeste $84^{\circ}15'40,48''$, con una altitud de 1 184 msnm. De este sitio, se obtuvo un suelo andisol para el llenado de las macetas, depositándose en un ambiente controlado, con lo que se reduce la afectación por aguas de lluvia; evaluándose las variables mediante un enfoque cuantitativo experimental. El ensayo constó de tres diferentes procedimientos, realizándose análisis químico de suelos, análisis foliar para determinar la absorción de N y, por último, se evaluó el aprovechamiento del agua según la mezcla de fertilizante nitrogenado con zeolita. Se experimentó con cinco tratamientos (T1= dosis comercial de urea, T2=25% zeolita más 75% media dosis comercial de urea, T3=25% zeolita más 75% dosis comercial de urea, T4= 25% zeolita más doble de dosis comercial de urea, T5=100% zeolita más 100% dosis comercial de urea), con 15 repeticiones cada uno. La densidad de plantas fue de 50 000/ha, utilizando un requerimiento de N por hectárea de 115 kg, para obtener una producción de 4 to/ha (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2008). El análisis químico de suelo, se llevó a cabo a los 70 dds, donde se mezcló el suelo de cada tratamiento por separado, extrayéndose una muestra para laboratorio; mientras que el análisis foliar se efectuó a los 70 dds, muestreándose las hojas más recientemente maduras para la etapa vegetativa, incluyendo su lígula. Para el aprovechamiento del agua según la mezcla de fertilizante nitrogenado con zeolita, se partió de un suelo completamente seco, pesándose para cada maceta y llevándolo a capacidad de campo con un volumen conocido de agua, cada tres días se pesó la maceta para determinar la cantidad de agua evapotranspirada, aplicándose lo faltante. A los 21, 42 y 70 dds, se procedió a eliminar cinco plantas por tratamiento, para restar el peso de la planta de la cantidad de agua faltante, corrigiendo así el gasto de líquido por evapotranspiración. Para el análisis de los datos, se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una diferencia de medias $\alpha=0,05$ y una prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) entre los tratamientos de $\alpha=0,05$.

Resultados

A pesar de observarse diferencias entre los tratamientos (tabla 1) en las mediciones de los 21 y 42 dds, a los 70 dds que fue el periodo de crecimiento vegetativo de la variedad, no se observa diferencia con el uso de zeolita en la reducción de evapotranspiración en la planta de maíz.

Tabla 1. Consumo de agua evapotranspirada por Tratamiento.

Tratamiento	Medias cm ³ 21 dds	Medias cm ³ 42 dds	Medias cm ³ 70 dds
D	1087.00 a	2197.00 ab	5090.00 a
E	1092.00 ab	2273.00 b	5109.20 a
B	1108.00 ab	2284.00 b	5262.90 a
C	1110.00 ab	2278.00 b	5223.50 a
A	1128.00 b	2138.00 a	4643.30 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). E cuanto a pesos frescos de las plantas, el gráfico 1 muestra diferencia entre los tratamientos únicamente a los 42 dds, mostrando para las demás mediciones que el uso de zeolita en diferentes dosis no es un factor de importancia para esta variable; caso similar se presenta para la medición de pesos secos (gráfico 2), donde la zeolita y la fuente N no ejercen ningún cambio en la producción de material vegetal. Gráfico 1. Pesos frescos durante la etapa vegetativa en gramos. Gráfico 2. Pesos secos durante la etapa vegetativa en gramos.

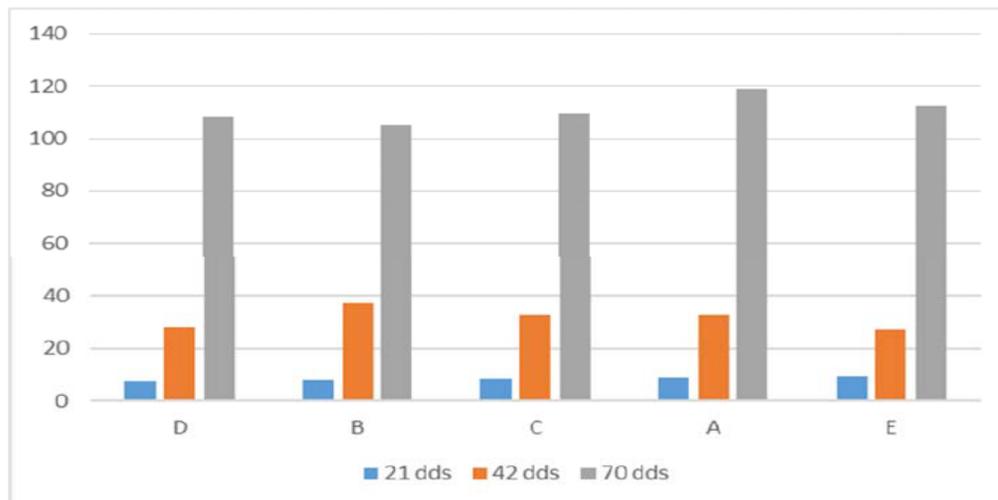


Gráfico 1. Pesos frescos durante la etapa vegetativa en gramos.

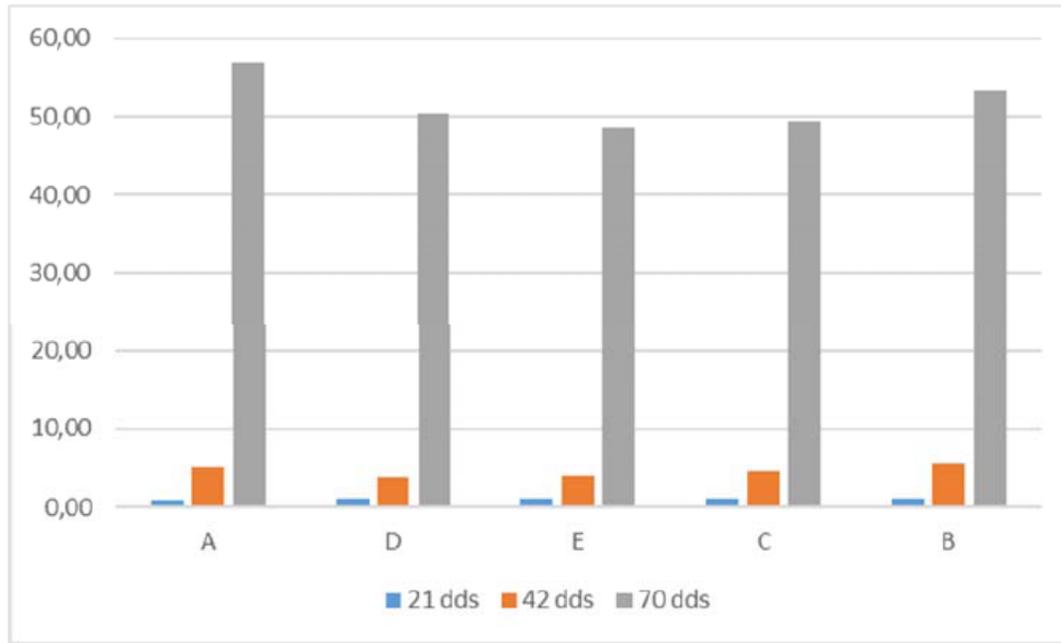


Gráfico 2. Pesos secos durante la etapa vegetativa en gramos.

En cuanto a la presencia de N remanente, C y la relación de estos, el cuadro dos muestra los datos obtenidos a los 70 dds. Se aprecian diferencias mínimas significativas, siendo los tratamientos D (0,42%) y A (0,40%) los que mantienen una mayor cantidad de N, seguidos por los tratamientos E (0,37%) y C (0,36%) y en último aparece el tratamiento B (0,34%) con las reservas más bajas de N. En cuanto a presencia de C en el suelo, se observan diferencias significativas entre los tratamientos E (3,27%) con la menor cantidad y el A (3,38%) con la mayor cantidad; sin embargo, los demás tratamientos no muestran diferencia significativa. La relación C/N, muestra diferencias mínimas significativas, donde el tratamiento E posee la relación más alta (10,03), seguidos por los tratamientos C (9,43), A (8,57), E (8,87) y D con la menor relación (7,83).

La tabla 3, muestra los análisis foliares realizados para los diferentes tratamientos, donde lo importante a analizar para este caso es el N total, siendo el tratamiento D, el d posee la mayor concentración, mientras q el B, presenta los niveles más bajos. Con respecto a la concentración de Fe y Mn, el tratamiento con los niveles más bajos los presenta el tratamiento B (228 y 243 mg/kg respectivamente), ubicándose los demás tratamientos muy por encima de este

Tabla 2. Presencia de N, C y su relación.

Tratamiento	% N	% C	C/N
B	0,34 a	3,38 ab	10,03 d
C	0,36 b	3,37 ab	9,43 c
E	0,37 b	3,27 a	8,87 b
A	0,40 c	3,44 b	8,57 b
D	0,42 c	3,32 ab	7,83 a

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

Tabla 3. Análisis químico foliar de las muestras realizado por el INTA.

Tratamiento	Porcentaje %					mg/kg			
	N-T	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
A	2.66	0.11	1.54	0.72	0.24	1261	11	74	331
B	1.93	0.10	1.27	0.56	0.32	228	13	35	243
C	2.52	0.09	1.42	0.65	0.25	1038	17	46	330
D	3.33	0.11	1.94	0.73	0.30	804	15	94	409
E	2.88	0.12	1.67	0.62	0.24	800	16	84	413

Metodología utilizada: digestión total con ácido nítrico y lectura en AA (P, K, Ca,

Mg, Fe, Cu, Zn, Mn); N-T en Dumas.

Discusión

Como se observa en la tabla 1, el tratamiento con más consumo de agua por evapotranspiración a los 21 dds, es el A (1128 cm³), el cual no posee aplicación de zeolita, presentando un menor consumo de agua el tratamiento D (1087 cm³), datos que se ratifican con ensayos realizados por Soca y Daza (2015) y Moradzadeh, Moazed, Sayyad y Khaledian (2014), donde aumentaron la capacidad de retención de humedad, retención de cationes y aminoraron el volumen de lixiviados; mientras que Gholamhoseini et al. (2013), en girasol al mezclar este mineral

con estiércol y urea y utilizar un riego limitado, obtuvieron una productividad máxima del agua, reduciendo también la lixiviación de nitratos.

Sin embargo, a los 42 dds, el tratamiento que aminora estadísticamente el consumo de agua es el A (2138 cm³), seguido por el tratamiento D (2197 cm³); mientras que los demás no muestran diferencia estadística en cuanto a retención de humedad; caso similar sucede para los 70 días (final de etapa vegetativa), donde el uso de zeolita no ayuda en cuanto a la reducción del consumo de agua por evapotranspiración en el cultivo. Esto puede deberse a la cantidad de zeolita aplicada, ya que Barbosa, De Oliveira, Cardacci y Montoani (2014) determinaron buenos resultados en la capacidad de absorción de agua de este mineral en un suelo oxisol, donde la dosis más baja fue de 2,5% de zeolita en comparación del suelo. Por otra parte, Urbina et al. (2011) exponen que las zeolitas requieren una mayor cantidad de agua para llegar al punto de saturación, lo que podría explicar el alto consumo de agua con respecto al testigo; relacionándose con una mayor solución en el suelo, mejorando la disponibilidad de nutrimentos y por consiguiente un mayor peso fresco, lo que no concuerda con los datos obtenidos (gráfica 1), donde el tratamiento E, posee el mejor peso fresco (9,18 g), pero uno de los consumos de agua menores (1092 cm³). Para la etapa de madurez, no se observa diferencia entre los tratamientos en cuanto a los pesos obtenidos, asociándose estos resultados a que la necesidad de elementos varía con el tiempo, donde experimentalmente se realizaron aplicaciones uniformes, viéndose afectados por el tipo de suelo, la roca que lo originó, la cantidad de agua o lluvia, la temperatura y de la composición de la comunidad que creció o crece en el sustrato, presentándose en algunos casos uno o varios nutrimentos en condiciones críticamente bajas (Vázquez, 1997). Contrastando con datos obtenidos por Díaz, Liriano y Abreu (2019) en cultivo de papa a campo abierto (dosis de 25% de zeolita y 75% de fertilizante), obteniendo rendimientos superiores a 29,46 to/ha respecto a los demás tratamientos; Soca y Daza (2016), observaron a mayor dosis de zeolita mejores pesos secos, contrario a lo sucedido en este trabajo, además recalcan la importancia de evaluaciones periódicas del suelo donde se utilice este mineral, ya que la movilidad constante del N en el suelo afecta considerablemente las plantas.

En cuanto a lo que respecta a la presencia de N en el suelo a los 70 dds (tabla 2), estadísticamente se observan diferencias significativas, donde los tratamientos D y A son los que presentan la mayor cantidad de remanentes de N, siendo el tratamiento D, el que posee una mayor dosificación. Esto puede asociarse en los análisis foliares (tabla 3) donde los resultados son prácticamente los mismos, con excepción de los tratamientos A y E, que poseen la misma aplicación de N, con la diferencia de que el tratamiento E contiene zeolita; a la vez, este presenta una concentración un poco más elevada de N en el follaje, generando para este caso en especial una mejor absorción que podría deberse al uso de este mineral. Sin embargo, en la relación C/N el tratamiento B posee la dosis más baja de N químico aplicado, pero presenta la relación más alta (10,03), siendo asimilado e incorporado metabólicamente por parte de los microorganismos rápidamente cuando su contenido en sustratos es alto, ocurriendo la mineralización simultánea de los compuestos carbonados y descomposición y ruptura de los tejidos (Núñez, 2000; Gamarra, Díaz, Vera, Galeano y Cabrera, 2018).

En los tratamientos D y A (mayor contenido de N con zeolita y N sin zeolita respectivamente), la tasa de mineralización de N orgánico es bastante acelerada con respecto a los demás tratamientos; sin embargo, para todos los tratamientos, se presenta una relación bastante adecuada, encontrándose entre los parámetros aceptables, donde los que poseen las más elevadas, son los tratamientos con presencia de zeolita y una dosis adecuada de N químico.

Agradecimiento

A la MSc. Paola Brenes por toda la ayuda brindada, MSc. Wagner Peña por abrirme las puertas para realizar este trabajo y a sus compañeros de oficina que me ayudaron de alguna forma.

Referencias

- Ávila, H., Dambrine, E., Harmand, J-M. y Jiménez F. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. *Agroforestería en Las Américas*, (41-42), 83-91. Banco Mundial. 2019. El agua en la agricultura. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Barbieri, P., Echeverría, H. y Sainz, H. 2018. Pérdidas por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz en función de la fuente, dosis y momento de aplicación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117 (1), 111-116.
- Barbosa, S. M., De Oliveira, G. C., Carducci, C. E. y Montoani, S. B. 2014. Potencialidade de uso de zeólitas na atenuação do déficit hídrico em Latossolo do cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2357-2368.
- Díaz, A. H. J., Liriano, G. R. y Abreu, C. E. O. 2019. Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Centro agrícola*, 46(1), 24-30.
- Food and Agriculture Organization. 2015. El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas para el 2018. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/>
- Gamarra, L. C. C., Díaz, L. M. I., Vera, de O. M., Galeno, M. del P. y Cabrera, J. N. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 1-22.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadiam, A., Zakikhani, H. y Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Revista Soil & Tillage Research*, 126(2013), 193–202.
- Grassini, P. y Cassman, K. G. 2012. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(4), 1074–1079.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2017. El agua para la agricultura de las Américas. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6148/BVE17109367e.pdf;jsessionid=591DA6D8EAAE93B30AF41005B415D0B5?sequence=1>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 2008. Cultivo de maíz (*Zea mays*), Manual de recomendaciones técnicas cultivo de maíz. San José, Costa Rica.
- Leal, V. L. A., Salamanca, J. A. y Sadeghian, K. S. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Cenicafé*, 58(3), 216-226. Moradzadeh, M., Moazed, H., Sayyad, G. Y Khaledian, M. 2014. *Acta Ecológica Sinica*, 34, 342-350.
- Núñez, S. J. 2000. Fundamentos de edafología. San José, Costa Rica, EUNED.
- Soca, M. y Constanza, M. 2015. La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 46-55.
- Urbina, S. E., Baca, C. G., Núñez, E. R., Colinas, L. M., Tijerina, C. L. y Tirado, T. J. 2011. Zeolita como sustrato en el cultivo hidropónico de gerbera. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 387-394.
- Verhulst, N., Francois, I. y Govaerts, B. 2015. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: entre el mito y la realidad del agricultor. México D.F., México. CIMMYT-MasAgro.