

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

Agronomic evaluation of complete formula fertilizers mixed with natural zeolite in potato cultivation (*Solanum tuberosum* L.)

Héctor Juan Díaz Álvarez, Ramón Liriano González, Enildo Osmani Abreu Cruz

Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3 ½, Matanzas, Cuba, CP 44740

E-mail: héctor.díaz@umcc.cu

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes combinaciones de zeolita natural con fertilizantes de fórmula completa, en la respuesta agronómica del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Desirée. Se estudiaron cuatro tratamientos: control o testigo (sin fertilización), fórmula completa 8-9-14, fórmula completa 6-7-10 (75 % de nutrientes y 25 % de zeolita natural) y fórmula completa 4-4,5-7 con un 50 % de nutrientes y 50 % de zeolita natural, todas a una dosis de 1 490 kg ha⁻¹ más una dosis adicional de 150 kg ha⁻¹ de urea. Se evaluó la altura de las plantas, el número de tubérculos por planta, el rendimiento promedio por planta (kg planta⁻¹), el rendimiento agrícola del cultivo (t ha⁻¹), el contenido de materia seca en el tubérculo (%), la eficiencia agrícola relativa y los kg de tubérculos por kg de nutriente aplicado. Los resultados obtenidos fueron procesados a través de un análisis de varianza simple. La adición de zeolita natural al 25 y 50 % a la fórmula completa incrementó la altura de la planta. Los componentes del rendimiento se ven favorecidos con la aplicación de fertilizantes y zeolita, el tratamiento con 75 % de fórmula completa y 25 % de zeolita obtuvo rendimientos superiores con 29,46 t ha⁻¹.

Palabras clave: eficiencia agronómica, fertilizantes de fórmula completa, papa, zeolita

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the effect of different combinations of natural zeolite with complete formula fertilizers on the agronomic response of the potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Desirée. Four treatments were studied: control (without fertilization), complete formula 8-9-14, complete formula 6-7-10 with 75 % of nutrients and 25 % of zeolite and complete formula 4-4,5-7 with 50 % of nutrients and 50 % of zeolite, all at a dose of 1 490 kg ha⁻¹ plus an additional dose of 150 kg ha⁻¹ of urea. It was evaluated the height of the plants, the number of tubers per plant, the average yield per plant, the crop's agricultural yield, the dry matter content in the tuber, the efficiency relative agricultural and tuber kg per kg of nutrient applied. The results obtained were processed through a simple variance analysis and the Duncan mean multiple comparison test. The addition of natural zeolite at 25 and 50 % to the complete formula increased the height of the plant. The components of the yield are favored with the application

of fertilizers and zeolite, the treatment with 75 % complete formula and 25 % of zeolite obtained superior yields with 29.46 t ha⁻¹.

Keywords: agronomic efficiency, complete formula fertilizers, zeolite, potato

INTRODUCCIÓN

La población mundial en rápido crecimiento ha hecho necesario un incremento de la producción de alimentos, lo que ha llevado a un aumento en el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, a pesar de que permiten una mayor productividad, los sistemas agrícolas de altos insumos generan problemas medioambientales, por otra parte, el creciente desarrollo de la agricultura ha favorecido la demanda de nuevos productos que permiten el desarrollo de los cultivos y el incremento de las producciones agrícolas, sin contaminar el medioambiente.

Las zeolitas naturales son minerales cuya estructura se encuentra atravesada por infinidad de canales que la convierten en un verdadero tamiz, lo que determina en gran medida sus propiedades más importantes como: el intercambio catiónico, la adsorción (como proceso físico) y su capacidad de hidratación-deshidratación. Son aluminosilicatos, del grupo de los tectosilicatos, cuya estructura tridimensional permite el intercambio iónico sin cambios en su estructura atómica (Osorio, 2014). La zeolita actúa como una enmienda que permite incrementar la eficiencia de los fertilizantes, permitiendo una disponibilidad controlada de los cationes que son utilizados por las plantas en su nutrición (Costafreda, 2014).

La papa se cultiva en más de 130 países del mundo cubriendo un área mayor de 18 millones de hectárea con una producción anual de 315 millones de toneladas, superada solamente por tres cultivos: trigo, arroz y el maíz, representando la mitad de la producción mundial de raíces y tubérculos (MINAG, 2016). En Cuba se considera uno de los cultivos alimenticios más importantes con gran demanda por la población por sus

aportes en proteínas, minerales y vitaminas.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes combinaciones de zeolita natural con fertilizante de fórmula completa, en la respuesta agronómica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el cultivo de papa variedad Desirée, sobre un suelo Ferralítico Rojo háplico eútrico (Hernández *et al.*, 2015). En la tabla 1 se presentan las características del suelo, donde se destacan los bajos niveles de fósforo y potasio asimilables.

Se estudiaron cuatro tratamientos: control o testigo (sin fertilización), fórmula completa 8-9-14, fórmula completa 6-7-10 con 75 % de nutrientes y un 25 % de zeolita natural y fórmula completa 4-4,5-7 con un 50 % de nutrientes y 50 % de zeolita natural, todas a una dosis de 1 490 kg ha⁻¹ más una dosis adicional de 150 kg ha⁻¹ de urea.

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar con cinco repeticiones y parcelas de seis surcos con 14 plantas a una distancia de 90 cm entre hileras y 25 cm entre plantas, para un área total de 18,90 m². A los 30, 40, 50, 60 y 75 días de plantado el cultivo se determinó la altura de las plantas (cm) y en el momento de la cosecha el número de tubérculos por planta, peso promedio de los tubérculos por planta (kg planta⁻¹), rendimiento agrícola del cultivo (t ha⁻¹), contenido de materia seca en el tubérculo (%) para lo cual se cortaron en rodajas, se pesaron y posteriormente fueron introducidas en la estufa a

Tabla 1 - Características suelo Ferralítico Rojo háplico eútrico

pH	Materia Orgánica (%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CCC	P ₂ O ₅	K ₂ O
		cmol kg ⁻¹					mg 100g ⁻¹	
6,7	3,49	14,21	2,37	0,67	0,09	17,34	4,12	9,42

75 °C hasta llegar a peso constante. El porcentaje de materia seca se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$MS(\%) = \frac{\text{Peso.final}}{\text{Peso.inicial}} \times 100 \quad (1)$$

La eficiencia agrícola relativa (EAR) según Osuna *et al.* (2012) se calculó a través de la siguiente expresión:

$$EAR = \frac{R.F.zeo - R.parc.no.fert.}{R.F.compl. - R.parc.no.fert} \times 100 \quad (2)$$

- R.F.zeo: rendimiento promedio (t ha⁻¹) de las parcelas donde se aplicó el fertilizante con zeolita natural.
- R.parc.no fert: rendimiento promedio (t ha⁻¹) de la parcela no fertilizada.
- R.F.compl.: Rendimiento promedio (t ha⁻¹) de las parcelas donde se aplicó la fórmula completa 8-9-14

También se determinó el rendimiento de los tubérculos por kg de nutriente aplicado, a través de la siguiente expresión:

$$\frac{\text{kg. de tubérculo}}{\text{kg. de nutriente aplicado}} = \frac{\text{kg de tubérculo}}{N + P_2O_5 + K_2O \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}} \quad (3)$$

Los resultados obtenidos fueron procesados a través de un análisis de varianza simple y se

aplicó la prueba de comparación múltiple de media de Duncan a fin de comprobar el nivel de significación para $p \leq 0,05$ utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS Versión 5,0 sobre Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presenta la altura de la planta en diferentes fechas de muestreo, donde existe una clara tendencia al incremento de la altura con el desarrollo del ciclo vegetativo del cultivo, existiendo diferencia significativa entre tratamientos a los 50, 60 y 75 días.

La altura de la planta se ve favorecida por la aplicación de fórmula completa más zeolita. En tal sentido Chica Toro (2006) señala que la zeolita contribuye a mejorar la capacidad de intercambio catiónico, aumentar la retención de agua, mejorar la estructura del suelo, incrementar la vida microbiana, aportar macro y micronutrientes, entre otros, características que tienen incidencia positiva en la manifestación de esta variable. Palacios (2012) al evaluar la zeolita como retenedor de nutrientes en el cultivo del apio consiguió una altura de 9,44 cm a los 30 días después del trasplante a diferencia del control al que no se aplicó zeolita el cual alcanzó una altura de 7,43 cm.

Los parámetros del número de tubérculos y peso de los tubérculos por plantas arrojaron la existencia de diferencias significativas a favor del peso promedio de los tubérculos por plantas y no en el número promedio de tubérculos por plantas (tabla 3).

Los resultados obtenidos en el rendimiento agrícola se exponen en la tabla 4, donde

Tabla 2 - Altura promedio de las plantas

Tratamientos	Altura de las plantas (cm)				
	30 días	40 días	50 días	60 días	75 días
Control (sin fertilización)	8,6	19,5	25,6 ^b	27,8 ^b	35,6 ^b
Fórmula completa 8-9-14	9,5	21,3	27,9 ^{ab}	32,4 ^a	38,2 ^b
Fórmula completa 6-7-10 + 25 % zeolita natural	11,3	23,1	28,2 ^a	33,5 ^a	47,9 ^a
Fórmula completa 4-4,5-7 + 50 % zeolita natural	16,4	26,8	30,5 ^a	35,5 ^a	47,6 ^a
Sig.	NS	NS	**	**	**
Sx	-	-	1,435	2,435	1,786

Medias con letras diferentes entre tratamientos, difieren para $p \leq 0,05$

Tabla 3 - Cantidad y peso de los tubérculos por plantas

Tratamientos	Número promedio de tubérculos por plantas	Peso promedio de los tubérculos por planta (kg/planta ⁻¹)
Control (sin fertilización)	5,4 ^b	0,36 ^c
Fórmula completa 8-9-14	6,7 ^a	0,46 ^b
Fórmula completa 6-7-10 + 25 % zeolita natural	6,9 ^a	0,57 ^a
Fórmula completa 4-4,5-7 + 50 % zeolita natural	6,4 ^a	0,47 ^b
Sig.	*	**
Sx	0,422	0,233

Medias con letras diferentes entre tratamientos, difieren para $p \leq 0,05$

se observa diferencia significativa entre tratamientos, destacando estadísticamente la fórmula con el 25 % de zeolita natural como la de mejor rendimiento (29,46 t ha⁻¹), no existiendo diferencias estadísticas entre la fórmula completa y la que contenía el 50 % de zeolita natural (24,31 y 25,06 t ha⁻¹ respectivamente).

Resultados similares son reportados por Díaz (1999) en los cultivos de frijol negro, tomate, frijol carita, pepino y boniato logrando incrementos del orden de 17, 38, 16, 35 y 23 % respectivamente al comparar fertilizantes con el 25 % de zeolita natural con fórmulas completas que no contenían zeolita.

Soca (2012) y Costafreda (2014) resaltan al analizar el intercambio catiónico de las zeolitas que esta propiedad posee una gran gama de usos agrícolas, lo que permite la inclusión entre el 15 y 25 % de zeolitas en los fertilizantes minerales NPK, lo que posibilita la disminución de los nutrientes que portan las diferentes fórmulas, sin

que se produzca detrimento en los rendimientos agrícolas, por el contrario, en la mayoría de los casos se obtienen incrementos significativos de los mismos.

González *et al.* (2012) estudiaron la inclusión de zeolitas naturales en los fertilizantes minerales en el rendimiento del maíz con riego e informan de incrementos del rendimiento con este mineral.

Méndez y Soca (2012) evaluaron agroindustrialmente el impacto de la zeolita en el cultivo de la caña de azúcar y en la cepa de caña planta con incorporaciones del 25 % de zeolita natural para dar inicio a la campaña de fertilización en las nuevas áreas de siembra de Veracruz, México, donde aplicaron la fórmula 24-5-22 la que incluía un 25 % de zeolitas sustituyendo en igual proporción todas las materias primas fertilizantes de la fórmula. La no obtención de diferencias estadísticas al evaluar el rendimiento de campo y los contenidos del POL en caña, les permitió concluir que la reducción

Tabla 4- Rendimientos agrícolas obtenidos en los tratamientos

Tratamientos	Rendimiento agrícola (t ha ⁻¹)
Control (sin fertilización)	18,43 ^c
Fórmula completa 8-9-14	24,31 ^b
Fórmula completa 6-7-10 + 25 % zeolita natural	29,46 ^a
Fórmula completa 4-4,5-7 + 50 % zeolita natural	25,06 ^b
Sig.	**
Sx	0,836

Medias con letras diferentes entre tratamientos, difieren para $p \leq 0,05$

de NPK provocada por la inclusión de la zeolita no afectó éstos parámetros, no obstante, el rendimiento en campo se incrementó en rangos de 5 a 13 t ha⁻¹, al incorporar el 25 % de zeolita, lo que puede estar relacionada con el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y principalmente en sus contenidos de fósforo y potasio.

Casals (2014) refiere que la inclusión del 25 % de zeolitas natural al fertilizante químico arrojó un incremento del 16 % en los rendimientos de varios cultivos.

Soca y Villareal (2015) destacan que la zeolita en la agricultura es utilizada en la preparación de fertilizantes químicos que tras su aplicación en los suelos reserva importantes nutrientes para el crecimiento de las plantas cuando se aplica en cultivos como arroz, sorgo, maíz, palma, banano, hortalizas, pastos, café, cacao, sábila y flores, con excelentes resultados comprobándose que a través de la sustitución del 20 % de los fertilizantes tradicionales se han obtenido reducciones en los costos de fertilización hasta en un 11 % y mejoras en la productividad y calidad del producto final.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2014) informa que resultados experimentales obtenidos en diversos países de Europa, Estados Unidos, Cuba, América Central, Sudamérica y México, confirman que la mezcla del 25 % de zeolita de tres milímetros de granulometría, con urea o con los fertilizantes químicos aplicados, es la más efectiva para optimizar su eficiencia y el rendimiento de los cultivos.

Febles *et al.* (2015) señalan que la zeolita aumentó el rendimiento de papa en 21,2 %, tomate en 38 %, pepino en 23,0 % y otras hortalizas

entre 23,0 y 35,0 %, cuando se mezcla 25 % con fertilizantes de fórmula completa.

La producción de materia seca total es el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Santos *et al.*, 2010).

Los valores alcanzados de la materia seca (Figura) están dentro de los informados por Deroncelé *et al.* (2000) lo que indica la incidencia positiva de este mineral en el suministro de nutrientes en las etapas críticas del cultivo. En cuanto al tratamiento del 50 % de zeolita natural, no difirió estadísticamente con la fórmula completa 8-9-14 por lo cual es una alternativa a la fertilización de este cultivo.

En la práctica, la concentración de materia seca que se alcance en los tubérculos (Subedi y Walsh, 2009) resulta un índice útil que define su calidad y el uso que de ellos se haga para diferentes fines.

La tabla 5 ilustra los valores de la Eficiencia Agrícola Relativa (EAR), la cual manifestó incrementos para las fórmulas 6-7-10 + 25 % zeolita natural y 4-4,5-7 + 50 % zeolita natural en el orden del 88 % y 13 % respectivamente. De igual forma los kg de tubérculos por kg de nutrientes aplicados manifiestan incrementos en las fórmulas con zeolita natural. Malesio *et al.* (2013) mencionan que la zeolita tiene la capacidad de mejorar la eficiencia de los fertilizantes, debido a que poseen la capacidad de adsorber partículas como N, Ca, K y Mg en su estructura.

He *et al.* (2008) afirman que la incorporación de zeolitas naturales en la formulación de fertilizantes minerales puede ser una alternativa para favorecer la retención del NH₄⁺ y otros

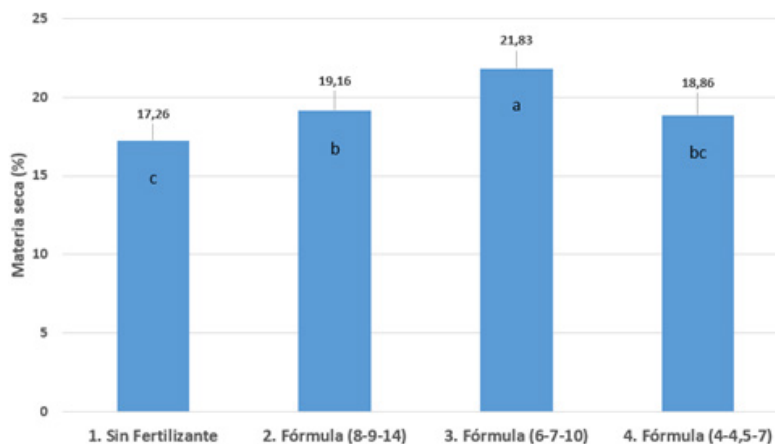


Figura - Contenido de materia seca en los tubérculos (%)
Medias con letras diferentes entre tratamientos, difieren para p ≤ 0,05

Tabla 5 - Rendimiento agrícola, EAR e incremento del tubérculo por cada kilogramo de nutriente aplicado

Tratamientos	Rendimiento agrícola (t ha ⁻¹)	EAR (%)	kg de tubérculo por kg nutriente aplicado
Control (sin fertilización)	18,43 ^c	-	-
Fórmula completa 8-9-14	24,31 ^b	-	46 ^c
Fórmula completa 6-7-10 + 25 % zeolita natural	29,46 ^a	188	61 ^b
Fórmula completa 4-4,5 7+ 50 % zeolita natural	25,06 ^b	113	95 ^a
Sig.	**	-	-
Sx	0,836	-	-

Medias con letras diferentes entre tratamientos, difieren para $p \leq 0,05$

caciones provenientes de los fertilizantes. Soca (2012) destaca que estas pueden actuar como abonos e incrementar el uso del nitrógeno y el fósforo o como enmiendas, al aumentar la capacidad de retención de humedad en los suelos.

CONCLUSIONES

La aplicación de fórmula completa y zeolita al 25 - 50 % incrementa significativamente la altura de las plantas.

Los componentes del rendimiento se ven favorecidos con la aplicación de fertilizantes y zeolita, el tratamiento con fórmula completa 6-7-10 y 25 % de zeolita obtuvo rendimientos superiores con 29,46 t ha⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA

CASALS, C. 2014. Las zeolitas. Mineral del siglo XX. Usos y aplicaciones. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/las-zeolitas.pdf> Consulta: 11 de febrero 2016.

CHICATORO, F. J., LONDOÑO, L. M., ÁLVAREZ, M. I. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. *Lasallista de Investigación*, 3 (1): 30-34.

COSTAFREDA, J. L. 2014. Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales. Rocas y minerales industriales. Fundación Gómez Pardo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid, España. 26 p.

DERONCELÉ, R., SALOMÓN, J., MANSO, F., LINARES, J., et al. 2000. *Guía técnica para la producción de papa en Cuba*. Instituto

de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba, 42 p.

DÍAZ, H. 1999. Nuevo fertilizante granulado con zeolita natural para el cultivo de la papa. En VII Fórum Nacional de Piezas de Repuesto y Tecnologías de Avanzada, La Habana, Cuba.

FEBLES, J., BORSATTO, F., AND SOCA., M. 2015. Fertcel-clinoptilolite natural product to optimize the fertilization and reduce environmental pollution. *J. Agr. Sci. Technol*, 5: 189-192,

GONZÁLEZ, M., MUÑIZ, J., VALENCIA, F., et al. 2012. Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizante en el estado de Guerrero. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (6): 1129-1144.

HE, N., XE, M., and DING, Y. 2008. Computational study on IM-5 zeolite: What is its preferential location of Al and proton siting? *Microporous and Mesoporous Materials*, 111 (1-3): 551 - 559.

HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J. M., BOSCH, D., CASTRO, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA, Habana, Cuba, 91 p.

MALESIO, R., RAMÍREZ, M., CEJA, E., GÓMEZ, P. y BUENO, A. 2013. Zeolita Natural; Alternativa Ecológica y Económica para la Agricultura de temporal en México, México.

MÉNDEZ, N. y SOCA, M. 2012. Evaluación agroindustrial del impacto de la zeolita en

- el cultivo de la caña de azúcar. Material mimeografiado, 15 p.
- MINAG (MINISTERIO DE LA AGRICULTURA). 2016. Instructivo técnico para la producción de papa en Cuba. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 62 p.
- OSORIO, N. W. 2014. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. 2^{ra} ed, Vieco L.S.A.S., Medellín, Colombia, 401 p.
- OSUNA, E., RAMÍREZ, A., PAREDES, R., PADILLA, J. y BÁEZ, A. D. 2012. Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrizica en el cultivo del trigo. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (6): 1101-1113.
- PALACIOS, N. 2012. Uso de tres retenedores de nutrientes en el suelo. Tesis para optar al título de Ingeniero agrónomo, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica, Cevallos, Ecuador, 94 p.
- SANTOS, M., SEGURA, M. y ÑÚSTEZ, C. E. 2010. Análisis del crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63 (1): 5253 - 5266.
- SAGARPA (SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL). 2014. Uso de la zeolita para reducir costos de fertilización química en la agricultura. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Grupo Experimental Cotaxtla, México.
- SOCA, M. 2012. Zeolitas. Sus usos agropecuarios. Editorial Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de la Agricultura, Cuba. 165 p.
- SOCA, M. y VILLAREAL, J. E. 2015. Influencia de Zeolita y roca fosfórica sobre el desarrollo de los cultivos sorgo y papa. *Científica Agropecuaria*, (23): 60-74.
- SUBEDI, P. P. y WALSH, K. B. 2009. Assessment of Potato Dry Matter Concentration Using Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy. *Potato Research*, 52: 67-77.

Recibido el 06 de marzo de 2017 y aceptado el 21 de diciembre de 2018