

Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero*

Irrigated corn yields zeolite treated plus fertilizer in the state of Guerrero

Marino González Camarillo^{1§}, Noel Orlando Gómez Montiel¹, Jesús Muñiz Espíritu², Félix Valencia Espinosa³, Dámaso Gutiérrez Guillermo⁴ y Hugo Orlando Figueroa López¹

¹Campo Experimental Iguala, INIFAP, Carretera Iguala-Tuxpan, Iguala, Guerrero, km 2.5. (gomez.noel@inifap.gob.mx), (hugofigl@hotmail.com). ²Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal Núm. 5. DGTA, Tierra Colorada, Guerrero. (jemues@hotmail.com). ³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Iguala, Guerrero. (fvalencia@live.com.mx). ⁴Prestador de Servicios Profesionales, Cd. Altamirano, Guerrero. (cemaizgro@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: gonzalez.marino@inifap.gob.mx.

Resumen

Durante el ciclo otoño-invierno 2008 a 2009 en diversos suelos del estado de Guerrero se establecieron seis parcelas de validación (PAVAL) para probar el efecto de la mezcla de zeolita granulada (ZG) o en polvo (ZP) más fertilizantes (FQ) en maíz de riego, en proporciones basadas en peso de la fórmula 90-60-00, en un arreglo de franjas contiguas de 0.33 ha: T₁) 85% FQ + 15% ZG (> 2.0 mm), T₂) 100% FQ + 600 kg ha⁻¹ (ZP < 1.0 mm), y T₃) 100% FQ sin zeolita. En cada tratamiento se delimitaron cinco parcelas útiles a manera de repeticiones de 8 m², en donde se midieron densidad de plantas (DP), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y rendimiento de grano (RG), cuyos valores se sometieron a análisis de varianza por localidad y entre localidades, usando respectivamente los diseños completamente al azar y parcelas divididas; aparte se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, 0.05. Según los resultados, el RG (t ha⁻¹) del T₁ varió de 4.72-8.46, del T₂ de 3.59-9.42 y del T₃ de 3.97-7.30. No hubieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos dentro de cada localidad para AP, DT y RG, pero el análisis tratamientos x localidades reflejó en muchos casos efectos estadísticamente diferentes entre tratamientos a favor del T₂ respecto a RG y poco consistentes

Abstract

During the autumn-winter cycle 2008-2009 in various soils of the state of Guerrero six validation plots were established (PAVAL) to test the effect of the mixture of zeolite granules (ZG) or powder (ZP) more fertilizer (FQ) irrigated corn in proportions based on weight of the formula 90-60-00, in an array of contiguous strips of 0.33 ha: T₁) 85% FQ + 15% ZG (> 2 mm), T₂) 100% FQ + 600 kg ha⁻¹ (ZP < 1 mm), and T₃) 100% FQ without zeolite. In each treatment, five plots were delimited as a way of repetitions of 8 m²; where the measured plant density (PD), plant height (PH), stem diameter (SD) and grain yield (GY), whose values were subjected to analysis of variance by location and between locations, using respectively the designs completely randomized and split plot; separately was applied the mean comparison test of Tukey, 0.05. According to the results, the GY (t ha⁻¹) of T₁ ranged from 4.72-8.46, T₂ of 3.59-9.42 and T₃ of 3.97-7.30. There were no statistically significant differences between treatments within each site for PH, DT, and GY, but the analysis treatment x location reflected in many cases effects statistically different between treatments in favor of T₂ with respect to GY and inconsistent in terms of PH.

* Recibido: octubre de 2011
Aceptado: julio de 2012

en cuanto a AP. Se concluye que en suelos de textura media o franca sin problemas de acidez, el T₂ ofrece las mejores posibilidades de incrementar el RG en maíz de riego.

Palabras clave: *Zea mays* L., zeolita granulada, zeolita en polvo, clinoptilolita, fertilización, urea.

Introducción

Alrededor de 75% de los suelos donde se siembra maíz en el estado de Guerrero muestran un evidente deterioro de su capacidad productiva por efecto de los altos niveles de erosión física y la consecuente pérdida de la fertilidad natural que esto conlleva, problema que se ha ido agravando por la persistente práctica del monocultivo y el uso cada vez más intensivo e irracional de agroquímicos contaminantes. (Gob. Edo. Guerrero, 2000; Canabal y Flores, 2004). Ante tal situación, hay un creciente interés de los propios agricultores y de los representantes gubernamentales por reducir el uso de agroquímicos que, en la actualidad, además de tóxicos resultan caros, y sustituirlos por elementos biológicos y naturales que permitan optimizar la producción agrícola y al mismo tiempo coadyuven a la conservación, recuperación y el mejoramiento de los recursos naturales (Ríos *et al.*, 2009). Las zeolitas son una serie de minerales que desde su descubrimiento en los años 1960's se han usado exitosamente como mejoradores de suelos arenosos en Japón para restringir las pérdidas por lixiviación de fertilizantes nitrogenados y neutralizar pH bajos de suelos agrícolas, en virtud de su relativamente alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y alta afinidad por iones NH₄⁺ (Ames, 1960 y Koon y Kaufman citados por Lewis *et al.*, 1983). Por otro lado, los numerosos estudios realizados sobre todo bajo invernadero y en menor escala en condiciones de campo en los Estados Unidos de América para mejorar el rendimiento y desarrollo de cultivos han tenido resultados variables, sin respuestas favorables en campo al trabajar en suelos de textura muy fina que requerirían dosis mayores a 50 t ha⁻¹ de zeolitas para cambiar su CIC (Barbarick y Pirela, 1983).

Las zeolitas son aluminosilicatos con estructura tridimensional tetraédrica compuestos de Si Al O, que contienen poros saturados por moléculas de agua y cationes intercambiables (Gottardi, citado por Pirela *et al.*, 1983), principalmente K, Na, Ca y Mg y también puede haber otros elementos en diversas concentraciones, dependiendo del origen, composición mineralógica y especie de zeolita

We conclude that medium-textured soils or clay without acidity problems; the T₂ offers the best possibilities of increasing the GY in irrigated corn.

Key words: *Zea mays* L., clinoptilolite, fertilizer, urea, granulated zeolite, zeolite powder.

Introduction

About 75% of the soils where corn is planted in the state of Guerrero show a clear deterioration in its productive capacity as a result of high levels of physical erosion and consequent loss of natural fertility, that this entails, a problem that has been exacerbated by the persistent practice of monoculture and the increasingly intensive and irrational use of agrochemicals. (Government of the State of Guerrero, 2000; Canabal and Flores, 2004). In this situation, there is growing interest of producers and government officials to reduce the use of agrochemicals, today, besides being toxic turn out expensive, and replace them by biological elements and natural to optimize agricultural production and at the same time contribute to the conservation, restoration and enhancement of natural resources (Rios *et al.*, 2009).

Zeolites are a series of minerals and since its discovery in the 1960's have been successfully used as sandy soil improvers in Japan to restrict losses by leaching of nitrogen fertilizers and neutralize low pH of agricultural soils by virtue of its relatively high capacity cation exchange (CCE) and high affinity for NH₄⁺ ions (Ames, 1960 and Koon and Kaufman cited by Lewis *et al.*, 1983). Moreover, numerous studies especially in greenhouses and on a smaller scale under field conditions in the United States of America to improve yield and development of crops have had variable results, with no favorable responses in the field to work on fine soil texture that would require doses greater than 50 t ha⁻¹ of zeolites to change its CCE (Barbarick and Pirela, 1983).

Zeolites are aluminosilicates with a 3D tetrahedral structure composed of Si, Al, O, containing saturated pores by water molecules and exchangeable cations (Gottardi, cited by Pirela *et al.*, 1983) mainly K, Na, Ca and Mg and may also have other elements at various concentrations, depending on the origin, mineralogical composition and

a que se haga referencia (Hawkins, 1983; Sheppard, 1983; Arredondo *et al.*, 2000). El gran interés por su uso agrícola, especialmente en países en desarrollo como Cuba, se basa en las siguientes propiedades fisicoquímicas: alta CIC que varía entre 100 y 300 meq 100 g⁻¹ (Breck, citado por Barbarick y Pirela, 1983), activa adsorción y filtración molecular, habilidad de hidratación y deshidratación sin alterar su estructura debido a que sus cavidades constituyen el 18 a 40% de su volumen (Mumpton, 1983), y su selectividad y afinidad por NH₄⁺ y K⁺ (Lewis *et al.*, 1983).

Aunque el descubrimiento de grandes yacimientos de depósitos sedimentarios a nivel mundial a finales de los 1950's impulsó el uso agrícola de las zeolitas naturales (Mumpton, 1999), posteriores estudios de caracterización de tales materiales han precisado que de las cerca de 50 especies de zeolitas naturales y más de 100 tipos de zeolita sintética existentes, las más útiles para propósitos agrícolas al parecer son cinco, entre las cuales la clinoptilolita y la chabasita son las más comercializadas (Hawkin, 1983). Al respecto, en México, Cano y Arredondo (2004) a través de su trabajo de identificación y caracterización de zeolitas en tobas volcánicas del estado de Oaxaca encontraron que sólo 46% de las 26 muestras analizadas contenían zeolita, principalmente clinoptilolita, aunque algunas muestras registraron cantidades tan reducidas que dudaron de sus efectos favorables como mejoradores de suelos.

En la revisión que Barbarick y Pirela (1983) hacen del uso agronómico de las zeolitas en cultivos agrícolas (arroz, cebada, maíz, frijol y sorgo forrajero) y hortícolas en suelos arenosos, limo arcillosos y de tipo franco, franco arenosos y franco arcillosos, resalta el potencial que la clinoptilolita tiene como mejorador y fertilizante de lenta liberación, en función de su alta CIC y afinidad por K⁺ y NH₄⁺, lo cual le permite capturar el NH₄⁺ en sus canales estructurales evitando así su oxidación a NO₃⁻ por bacterias nitrificantes y reduciendo al mismo tiempo las pérdidas por lixiviación de fertilizantes amoniacales. Al actuar como reservorios de NH₄⁺, los canales pueden también disminuir la toxicidad por amoníaco que provoca una excesiva fertilización con urea. Esta gran afinidad de las zeolitas por el ión amonio ha sido aprovechada exitosamente en Cuba, Latinoamérica y El Caribe para elevar los rendimientos en tomate y papa (John *et al.*, 2000 y John *et al.*, 2001; John, 2002) y en diversos cultivos anuales (Urquiaga y Zapata, 2000) y al mismo tiempo disminuir el impacto negativo ambiental que conllevan las pérdidas de nitrógeno debidas a las rápidas transformaciones bioquímicas y químicas que sufren los fertilizantes

kind of zeolite to which reference is made (Hawkins, 1983; Sheppard, 1983; Arredondo *et al.*, 2000). The great interest in agricultural use, especially in developing countries like Cuba, is based on the following physicochemical properties: high CCE which varies between 100 and 300 meq 100 g⁻¹ (Breck, cited by Barbarick and Pirela, 1983), active adsorption and molecular filtration ability of hydration and dehydration without altering their structure because their cavities constitute 18 to 40% by volume (Mumpton, 1983), and its selectivity and affinity for NH₄⁺ and K⁺ (Lewis *et al.*, 1983).

In the review that Barbarick and Pirela (1983) made of the agronomic use of zeolites in crops (rice, barley, corn, beans and sorghum forage) and horticultural crops on sandy, clay silt and loam type, sandy loam and clay loam, highlights the potential of clinoptilolite as improver and slow release fertilizer, based on their high CCE and affinity for K⁺ and NH₄⁺, which allows to capture the NH₄⁺ in its structural channels thus preventing its oxidation to NO₃⁻ by nitrifying bacteria and while reducing leaching losses of ammonium fertilizers; by acting as reservoirs of NH₄⁺, channels can also decrease the toxicity of ammonia that causes excessive fertilization with urea.

This high affinity of zeolites for ammonium ion has been used successfully in Cuba, Latin America and the Caribbean to raise yields in tomato and potato (John *et al.*, 2000 and John *et al.*, 2001; John, 2002) and various annual crops (Urquiaga and Zapata, 2000) while decreasing the negative environmental impact involving nitrogen losses due to the rapid changes in biochemical and chemical changes that nitrogen fertilizers have in the soil, mainly as NO₃⁺ and NH₄⁺ by leaching and volatilization, respectively, but also produced by denitrification (N₂O, NO), that on leaving the soil-plant level can cause damage to humans and animals and the environment in general.

In Spain, De la Torre *et al.* (2000) confirmed that the addition of 50 t ha⁻¹ of clinoptilolite previously enriched with nitrogen, phosphorus and potassium in a sandy permeable soil planted with strawberry, to retain water for longer serves as a vehicle for the transportation of nutrients in the first 30 cm soil depth, extends the time that they can be utilized by plants and greatly reduce nitrate leaching into aquifers.

In the Republic of Slovenia, the zeolite clinoptilolite in natural and enriched with ammonia has been used for its high ion exchange capacity for the production of compost

nitrogenados en el suelo, principalmente en forma de NO_3^- y NH_4^+ por lixiviación y volatilización, respectivamente, pero producidas también por desnitrificación (N_2O , NO), que al salir del ámbito suelo-planta pueden causar daños al hombre y los animales y en general al medio ambiente. En España, De la Torre *et al.* (2000) confirmaron que la adición de 50 t ha^{-1} de clinoptilolita enriquecida previamente con nitrógeno, fósforo y potasio en un suelo arenoso permeable sembrado con fresa, al retener por más tiempo el agua que sirve de vehículo a la transportación de los nutrientes en los primeros 30 cm de profundidad del suelo, prolonga el tiempo en que éstos pueden ser aprovechados por las plantas y reducen en gran medida la filtración de nitratos hasta los acuíferos.

En la República de Eslovenia, la zeolita clinoptilolita en forma natural y enriquecida con amonio ha estado utilizándose por su alta capacidad de intercambio iónico para la elaboración de composta a partir del reciclaje y enriquecimiento de desechos ganaderos (Kusá *et al.*, 2002) y la neutralización del efecto tóxico de metales pesados (Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn) en lodos y materiales orgánicos de residuos municipales (Zorpas *et al.*, 2002), de tal manera que la composta resultante puede ser usada sin riesgos de toxicidad en el mejoramiento del rendimiento y calidad del pimiento y la mostaza; Sin embargo, el primer grupo de investigadores advierte que por su reacción ácida en el suelo, las dosis a emplear de zeolita enriquecida en su caso con ácido fosfórico deben ser limitadas.

En el caso de México, durante 1996 y 1997, en diversas regiones del estado de Oaxaca se establecieron numerosos experimentos en temporal y de riego para determinar la mejor proporción de fertilizantes químicos en maíz complementada con zeolita, estiércol y composta, usando en muchos casos como base la fórmula de fertilización recomendada 60-40-00 reducida en cuanto al peso de sus ingredientes en niveles del 0, 25, 50, 75 y 100% con la consecuente sustitución de tales proporciones con los materiales mencionados y teniendo un testigo absoluto sin fertilizantes ni materiales orgánicos. De acuerdo con los resultados reportados por Arredondo *et al.* (2000), hubo buena compatibilidad de la zeolita, estiércol y composta con los fertilizantes químicos, ya que su combinación implicó aumentos en el rendimiento que variaron de 7 a 17%. La mejor respuesta tendió a ser la mezcla en la que se sustituyó un 30 a 50% del fertilizante químico; sin embargo, a partir de estos resultados no se logró precisar las proporciones óptimas de los diversos componentes.

from waste recycling and enrichment of cattle manure (Kusa *et al.*, 2002) and neutralization of the toxic effect of heavy metals (Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb and Zn) in sludge and municipal waste of organic materials (Zorpas *et al.*, 2002), so that the resulting compost can be used without risk of toxicity in improving the yield and quality of pepper and mustard; However, the first group of researchers cautioned that their acid reaction in the soil, zeolite doses to be used if enriched with phosphoric acid should be limited.

In the case of Mexico, during 1996 and 1997 in various regions of the state of Oaxaca were established in numerous experiments in rainfed and irrigation to determine the best proportion of chemical fertilizers in maize complemented with zeolite, manure and compost, using in many cases as based on the recommended fertilizer formula 60-40-00 reduced in weight of the ingredients at levels of 0, 25, 50, 75 and 100% with the subsequent replacement of such proportions with these materials and having an absolute control without fertilizer or organic materials.

According to the results reported by Arredondo *et al.* (2000), there was good compatibility of the zeolite, manure and compost with the chemical fertilizers, and their combination implied yield increases ranging from 7 to 17%. The best response tended to be the mixture in which was replaced by 30 to 50% of the chemical fertilizer; however, from these results it was not possible to specify the optimum proportions of the various components.

Cano and Arredondo (2004) mentioned that the success or failure of the use of clinoptilolite as a soil improver depends on the dominant cation and its concentration, since high levels of sodium are toxic to crops, and soil texture because has been little or no response in areas of medium to fine texture because much of its surface area is constituted by clays which give it high cation exchange capacity and compete with the zeolite in the process of cation exchange.

Through a study with the cultivation of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under greenhouse Urbina-Sánchez *et al.* (2006) to determine the physical properties and cation exchange of clinoptilolite zeolite from the town of Etla, Oaxaca, Mexico, where three different particle sizes (0.71-1.00, 1.01-2 and 2.01-3.36 mm) of this material previously enriched with K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} were used as hydroponic substrates, it was concluded that the fine and medium particles size had larger seedlings ($p \leq 0.05$) than with the coarse particle size.

Cano y Arredondo (2004) mencionan que el éxito o fracaso del uso de clinoptilolita como mejorador del suelo depende del tipo del catión predominante y su concentración, ya que altos niveles de sodio resultan tóxicos para los cultivos, y de la textura del suelo porque se ha visto baja o nula respuesta en terrenos de textura media a fina debido a que gran parte de su superficie específica lo constituyen arcillas que lo dotan de alta capacidad de intercambio catiónico y compiten con la zeolita en el proceso de intercambio de cationes.

A través de un estudio efectuado con el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero por Urbina-Sánchez *et al.* (2006) para determinar las propiedades físicas y de intercambio de cationes de zeolita clinoptilolita proveniente del municipio de Etla, Oaxaca, México, en donde tres diferentes granulometrías (0.71-1.00, 1.01-2.00 y 2.01-3.36 mm) de este material previamente enriquecido con K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se usaron como sustratos hidropónicos, se llegó a concluir que con las granulometrías fina y media se obtuvieron plántulas de mayor tamaño ($p \leq 0.05$) que con la granulometría gruesa. Asimismo, las zeolitas enriquecidas con K^+ o Mg^{2+} produjeron plántulas de mayor tamaño ($p \leq 0.05$) que las obtenidas en la zeolita enriquecida con Ca^{2+} . Dado que las plántulas con solución nutritiva sin Na^+ , pero que crecieron en las zeolitas enriquecidas con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} , absorbieron cantidades importantes de Na^+ provenientes de la zeolita natural, elemento que no fue totalmente desalojado por las soluciones desplazantes KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$ y $Mg(NO_3)_2$, se infiere que hubo respuesta favorable de las plantas al Na^+ y que su absorción disminuyó la de Ca^{2+} por antagonismo entre cationes.

Hasta ahora en diversos países como Cuba, Japón, Estados Unidos y España que cuentan con abundantes yacimientos de zeolita se han hecho muchos estudios que han descubierto nuevas aplicaciones tanto de las zeolitas naturales como de las zeolitas sintéticas, y se continúa investigando para comprender mejor su lógica de funcionamiento en aplicaciones actuales y encontrar otros usos (Rakovan, 2004). Al respecto, en Cuba desde finales de la pasada década e inicios de la presente se logró evaluar con relativo éxito la efectividad del enriquecimiento con zeolita de la fórmula de fertilización recomendada en tomate (Challoux *et al.*, 1997), de la mezcla de zeolita natural con urea convencional en proporciones equivalentes al 15, 20 y 30% (John *et al.*, 2001; John, 2002) y el uso de zeolita como soporte y complemento de inoculantes biológicos (Hernández, 2000), en función del incremento significativo del rendimiento en tomate y la reducción de las pérdidas del nitrógeno del suelo que

Furthermore, zeolites enriched with K^+ or Mg^{2+} produced larger seedlings ($p \leq 0.05$) than those in the zeolite enriched with Ca^{2+} . Since seedlings with nutrient solution without Na^+ , but grew up in the zeolites enriched with K^+ , Ca^{2+} or Mg^{2+} , absorbed significant amounts of Na^+ from natural zeolite, an element that was not totally eliminated by the displacement solutions KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$ and $Mg(NO_3)_2$, it is inferred that there was favorable response of plants to Na^+ and decreased absorption of Ca^{2+} by antagonism between cations.

Until now in various countries such as Cuba, Japan, USA and Spain that have abundant deposits of zeolite have been made many studies that have found new applications of zeolites both natural and synthetic zeolites, and research continues to understand better their function in existing applications and find other uses (Rakovan, 2004).

In this regard, in Cuba since the end of the last decade and the beginning of this, was achieved relatively successfully to evaluate the effectiveness of zeolite enrichment of the formula of recommended fertilization in tomato (Challoux *et al.*, 1997) of the mixture of natural zeolite with conventional urea at proportions equivalent to 15, 20 and 30% (John *et al.*, 2001; John, 2002) and the use of zeolite as a support and complement of biological inoculants (Hernández, 2000), based on the significant yield increase on tomato and reducing the nitrogen losses from soil which could cause a negative impact on the environment.

In all these investigations, the most interesting finding for the purposes of our study is that the substitution of zeolite over 30% of nitrogen fertilizer does not meet the nutritional demands of the crop and thus facilitates yield decreases. This response may be due to lack of fertilizer or also to the ammonium retention by the zeolite that increases as it does apply greater amounts of calcium.

Materials and methods

During the autumn-winter crop season 2008 - 2009, in various locations in the North, Central and Tierra Caliente of Guerrero, whose geographical location and soil characteristics are shown in Table 1, there were established six validation irrigated plots (PAVAL) of corn to validate and demonstrate the crop response to the fertilizer based on the mixture of zeolite powder (ZP) and zeolite granules (ZG) with chemical fertilizers.

podrían provocar impactos negativos en el ambiente. De todas estas investigaciones, la conclusión más interesante para los propósitos de nuestro estudio es que la sustitución por zeolita de más del 30% del fertilizante nitrogenado no satisface las demandas nutrimentales del cultivo y propicia por tanto decrementos del rendimiento. Esta respuesta puede deberse al déficit de fertilizante o también a la retención del amonio por parte de la zeolita que crece conforme se aplican mayores cantidades de este mineral.

Materiales y métodos

Durante el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2008/09, en diversas localidades de las regiones Norte, Centro y Tierra Caliente de Guerrero, cuya localización geográfica y características de suelo se indican en el Cuadro 1, se establecieron bajo riego seis parcelas de validación (PAVAL) de maíz con el fin de validar y demostrar la respuesta del cultivo a las dosis de fertilización basadas en la mezcla de zeolita en polvo (ZP) y zeolita granulada (ZG) con fertilizantes químicos. Respecto a los tipos de suelo en que se efectuaron las pruebas, cabe resaltar que los regosoles se caracterizan por ser delgados, provienen de materiales no consolidados y carecen de propiedades gléyicas y sálicas dentro de los primeros 50 cm, mientras que los vertisoles se agrietan con facilidad y contienen 30% o más de arcilla hasta al menos la profundidad de 50 cm (Ortiz *et al.*, 1994). Según Reyes *et al.* (1995) los regosoles figuran en primer lugar al ocupar el 32.6% de la superficie estatal, mientras que los vertisoles sólo cubren el 1.8%; y las texturas dominantes son la media y gruesa (89.3%), y en menor cuantía la fina (10.7%).

Exceptuando a la PAVAl de Sta. Bárbara donde se usó la variedad VS-535, en las demás se sembró el híbrido H-565. Cada PAVAl se dividió en tres franjas consecutivas únicas de 0.33 ha, en cada una de las cuales se aplicó sólo uno de los siguientes tratamientos basados en la fórmula de fertilización recomendada 90-60-00 (FQ): T₁) 85% FQ + 15% ZG (> 2.0 mm), T₂) 100% FQ + 600 kg ha⁻¹ ZP (< 1.0 mm), y T₃) 100% FQ sin zeolita. Las proporciones de fertilizantes químicos y de zeolita estuvieron en función del peso total (kg) de ingredientes usados para completar la fórmula, que en este caso fueron urea (46% N) y superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅). Así entonces, en el T₁ un 15% de ZG equivale a 52.5 kg ha⁻¹. La mitad del fertilizante nitrogenado, todo el fosforado y la ZP o ZG se aplicaron al momento de la

Regarding the types of soil in which the tests were made, it should be noted that the regosols are characterized by being thin, come from unconsolidated materials and have no gleyic and salic properties within the first 50 cm, while vertisols crack easily and contain 30% or more clay to at least a depth of 50 cm (Ortiz *et al.*, 1994). According to Reyes *et al.* (1995) regosols in first place by having 32.6% of the state surface, while vertisols cover only 1.8%, and the dominant textures are the medium and heavy (89.3%), and to a lesser extent the fine (10.7%).

Except for the PAVAl of Santa Barbara where the variety used was VS-535, in the rest was planted the hybrid H-565. Each PAVAl was divided into three strips consecutive unique of 0.33 ha, in each of which was applied only one of the following treatments based on the recommended fertilization formula of 90-60-00 (FQ): T₁) 85% FQ + 15% ZG (> 2 mm), T₂) 100% FQ + 600 kg ha⁻¹ ZP (< 1 mm), and T₃) 100% FQ without zeolite. The proportions of zeolite and chemical fertilizers were based on the total weight (kg) of ingredients used to complete the formula, which in this case were urea (46% N) and calcium triple superphosphate (46% P₂O₅).

Thus, at T₁, 15% of ZG equals to 52.5 kg ha⁻¹. Half the nitrogen fertilizer, all phosphorus and ZP or ZG were applied at planting time and the rest of nitrogen when the plant had about a month and a half age. The ZG was mixed with fertilizer and applied by machine, and ZP hand broadcast.

The zeolite clinoptilolite that was used came from sites located in Tehuacan, Puebla, and was acquired by the company Minerals Distributor and Southeastern Livestock S. A. C. V. located in San Andrés Cholula in bags of 50 kg without specifying the composition and content of its elements. The same company suggested dosages and forms of application of granular and powdered clinoptilolite to be validated in corn in combination with chemical fertilizer formula recommended by the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) for growing corn in the state of Guerrero.

The six PAVAl were planted between 19 and 30 January, previous track and plowed of the soil with a tractor at 80 cm between rows, placing three seeds per point every 50 cm. In most cases planting was mechanized, except in the town of Cajales were sown by hand with "tarecua" and initial irrigation was not applied over

siembra, y el resto del nitrógeno cuando la planta tenía alrededor de mes y medio de edad. La ZG se mezcló con el fertilizante y aplicó con máquina, y la ZP a mano al voleo.

the whole plot neither chemical fertilizer for the control group (T_3) at planting, but three weeks after giving the first watering.

Cuadro 1. Ubicación y características de los suelos de las localidades de prueba de la mezcla de zeolitas + fertilizantes químico en maíz de riego en Guerrero. Ciclo Otoño-Invierno 2008/09.

Table 1. Location and soil characteristics of the test localities of the mix of zeolites + chemical fertilizers in irrigated corn in Guerrero. Fall-winter 2008-2009 cycle.

Región / Localidad	Coordenadas Geográficas		Altitud (msnm)	Características de suelos		
	Lat. Norte	Long. Oeste		Tipo	Textura	pH
Norte						
Cocula	18° 15' 46.26"	99° 38' 52.73"	633	Regosol	Arcilloso	8.2
Iguala	18° 20' 58.13"	99° 30' 25.55"	755	Regosol	Migajón arcilloso	7.9
Centro						
Cajales	17° 16' 13.29"	99° 29' 42.84"	708	Regosol	Franco	7.9
Tierra Caliente						
El Escondido	18° 12' 47.01"	100° 19' 11.39"	341	Vertisol	Migajón arcillo arenoso	5.5
Sta. Bárbara	18° 19' 22.62"	100° 37' 41.36"	258	Regosol	Migajón arcillo arenoso	8.4
Cd. Altamirano	18° 20' 49.59"	100° 40' 25.04"	253	Regosol	Franco	7.6

* Estos datos y la altitud se obtuvieron con GPS; msnm: metros sobre el nivel del mar. Fuente: Elaboración propia con datos del mapa de la FAO (1990). Variedades de suelo en Guerrero.

La zeolita clinoptilolita que se usó provino de yacimientos localizados en Tehuacán, Puebla, y fue adquirida a través de la empresa Distribuidora de Minerales y Pecuarias del Sureste S. A. de C. V. ubicada en San Andrés Cholula en costales de 50 kg sin especificar la composición ni contenido de sus elementos. La misma empresa sugirió las dosis y formas de aplicación de clinoptilolita granulada y en polvo a validar en maíz en combinación con la fórmula de fertilización química recomendada por el INIFAP para el cultivo de maíz en el estado de Guerrero.

Las seis PAVAL se sembraron entre el 19 y 30 de enero, previo rastreo y surcado de los suelos con tractor a 80 cm entre surcos, depositando tres semillas por punto cada 50 cm. En la mayoría de los casos la siembra fue mecanizada, salvo en Cajales donde se sembró a mano con "tarecua" y no se aplicó riego inicial en toda la parcela ni el fertilizante químico correspondiente al lote testigo (T_3) al momento de sembrar, sino tres semanas después al dar el primer riego de auxilio.

En todas las PAVAL, al momento de la siembra para prevenir el ataque de plagas de la raíz se aplicó el insecticida terbufos 5% G, y para el control preemergente de malezas se usó el herbicida atrazina + acetanilida 660 SC, excepto en la localidad de Cajales. Las densidades de plantas en

In all PAVAL at planting time to prevent pest attack to root, it was applied the insecticide terbufos 5% G, and pre-emergent weed control was used the herbicide atrazine + acetanilide 660 SC, except in the town of Cajales. The average plant densities varied in the range of 48 000 to 65 000 plants ha^{-1} , according to the conducted sampling in mid-March in each PAVAL, and had to be made repeatedly applications of insecticides to the soil and foliage to control pests.

At seedling stage to combat the outbreak of white grubs, *Phyllophaga* sp. insecticide monocrotophos 600 LM was applied aimed at root collar; in full vegetative stage and before the heading, against stem borer, *Zeadiatraea grandiosella* Dyar was used deltamethrin 2.5 EC and against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), alternating spraying of permethrin 50 EC and deltamethrin 2.5 EC and application in the whorl with permethrin 0.4 G, the attack of red spider, *Tetranychus bimaculatus* Hervey, registered in the Tierra Caliente PAVAL during the reproductive phase of the culture was controlled by spraying dimethoate 40% EC.

As an additional measure of control of army worn and red spiders, it was suggested that the cooperating producers should make heavier watering every 8 or 9 days, thanks to these two practices achieved its efficient control.

promedio variaron en un rango de 48 mil hasta 65 mil plantas por hectárea, según los muestreos realizados a mediados de marzo en cada PAVAL, y tuvieron que hacerse repetidas aplicaciones de insecticidas al suelo y follaje para controlar plagas. En etapa de plántula para combatir el brote de gallina ciega, *Phyllophaga sp* se aplicó insecticida monocrotofos 600 LM dirigido al cuello de la raíz; en plena etapa vegetativa y antes del espigamiento, contra barrenador del tallo, *Zeadiatraea grandiosella* Dyar se usó deltametrina 2.5 CE y contra gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), se hicieron aspersiones alternadas de permetrina 50 CE y deltametrina 2.5 CE y aplicación en el cogollo de permetrina 0.4 G; el ataque de araña roja, *Tetranychus bimaculatus* Hervey, registrado en las PAVAL de Tierra Caliente durante la fase reproductiva del cultivo pudo controlarse con la aspersión de dimetoato 40% CE. Como medida complementaria de control de gusano cogollero y araña roja, se les sugirió a los productores cooperadores efectuar riegos más pesados cada 8 ó 9 días; gracias a estas dos prácticas se logró su eficiente control.

Al momento de la cosecha del cultivo, ocurrida según la localidad entre el 12 de mayo y 10 de junio, se realizaron por separado los muestreos aleatorios para la toma de datos básicos en cada una de las seis PAVAL, a partir de los cuales se calcularon los promedios por tratamiento y repetición de las variables que en seguida se definen:

Altura de planta (AP). Longitud del crecimiento total de plantas maduras medido a partir de la base del tallo o cuello de la raíz hasta el ápice de la espiga

Diámetro de tallo (DT). Espesor o grosor del tallo medido en plantas maduras a la altura del primer entrenudo basal

Densidad de plantas (DP). Número total de plantas por unidad de superficie presentes al momento de la cosecha.

Rendimiento de grano (RG). Peso total del grano cosechado por unidad de superficie ajustado a un nivel de humedad comercial de 14%.

Número de mazorcas (NM). Total de mazorcas cosechadas por unidad de superficie, sin importar tamaño ni peso.

Dado que por norma las PAVAL deben tener un tamaño comercial de al menos 1 ha y el arreglo de tratamiento hacerlo en fajas completas contiguas, en forma similar

At the time of crop harvest, which occurred according to each town between May 12 and June 10, were performed separately random sampling for basic data collection in each of the six PAVAL from which were calculated averages per treatment and replication for the following variables:

Plant height (PH). Length of the total growth of mature plants measured from the base of the stem or root collar to the apex of the spike

Stem diameter (SD). Thickness or stem thickness measured in mature plants to the height of the first basal internode.

Plant density (PD). Total number of plants per unit of surface present at the time of harvest.

Grain yield (GY). Total weight of the harvested grain per unit area adjusted to a commercial moisture level of 14%.

Number of ears (NE). Total harvested ears per unit area, regardless of size or weight.

As a rule the PAVAL must have a market size of at least 1 ha and the arrangement under treatment have to be done in complete adjacent strips, similar to factorial designs, then the size of experimental units of replications or useful plots could not be distributed in sequence, so that instead useful plot was determined using two adjacent grooves of 5 m long and 0.8 m apart for a total of 8 m². For this, in each of the PAVAL within each strip corresponding to the same treatment five useful plots equivalent to replications were delimited, one for each corner and one at the center, and in each case was recorded the height and diameter of five plants chosen at random, the total number of plants and ears, the total weight of ears, and finally extracted three representative ears to calculate grain yield adjusted to 14% of moisture with the aid of moisture determinator Steinlite.

Because at the beginning the objective of the evaluation was to examine the response of the genotype assessed to the application of fertilization treatments, the data of the response variables recorded in each of the test locations were subjected to analysis of individual variance; however, before the raised question on the response of fertilizers according to the different agro-ecological conditions, it was decided to analyze the results in combination: fertilizer x location, for which was used the split-plot design. This was possible because the arrangement used, similar to the factorial, can take as the main plot the location factor and as a small

a los diseños factoriales, entonces por el tamaño de las unidades experimentales las repeticiones o parcelas útiles no podían ser distribuidas secuencialmente, por lo que en su lugar se determinó como parcela útil el uso de dos surcos adyacentes de 5 m de longitud y 0.8 m de separación para un total de 8.0 m². Para esto, en cada una de las PAVAL, dentro de cada franja correspondiente a un mismo tratamiento se delimitaron cinco parcelas útiles equivalentes a repeticiones, una por cada esquina y otra al centro, y en cada caso se registró la altura y el diámetro de cinco plantas elegidas al azar, el número total de plantas y mazorcas, el peso total de las mazorcas, y por último se extrajeron tres mazorcas representativas para calcular después en gabinete el rendimiento de grano ajustado a 14% de humedad con auxilio del determinador de humedad Steinlite.

Debido a que en principio el objetivo de la evaluación consistió en conocer la respuesta del genotipo evaluado a la aplicación de los tratamientos de fertilización, los datos de las variables repuesta registrados en cada una de las localidades de prueba se sometieron a análisis de varianza individual; sin embargo, ante la interrogante posteriormente planteada sobre la respuesta de los fertilizantes en función de las diferentes condiciones agroecológicas, se tomó la decisión de analizar los resultados obtenidos en forma combinada: fertilizantes x localidad, para lo cual se utilizó el diseño de parcelas divididas; lo anterior fue posible debido a que el arreglo utilizado, similar al factorial, permite tomar como parcela grande al factor localidad y como parcela chica al tratamiento de fertilización. En los dos casos se aplicó la técnica de comparación múltiple de medias de Tukey a un nivel de significancia del 0.05.

Resultados y discusión

En todas las localidades no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con clinoptilolita para las variables rendimiento de grano y diámetro de tallo, pero en tres de ellas sí las hubo en cuanto a densidad de plantas y en dos en número de mazorcas (Cuadro 2); aunque a nivel aritmético en cuatro de las localidades de prueba, donde se sembró el híbrido H-565 y las densidades de plantas según el análisis individual fueron estadísticamente iguales, el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento que incluía clinoptilolita en polvo, correspondiéndoles en esos cuatro casos las cifras más altas de rendimiento a los regosoles de

plot the fertilization treatment. In both cases the multiple comparisons of means of Tukey technique was applied at a level of significance of 0.05.

Results and discussion

In all locations there were no significant differences between treatments with clinoptilolite for the variables of grain yield and stem diameter, but in three of them there were differences in density of plants and in two in number of ears (Table 2); although at arithmetic level in four of the test locations where planted the hybrid seed H-565 and densities of plants according to the individual analysis were statistically equal, the highest yield was obtained with treatment that included powdered clinoptilolite, corresponding in these four cases the highest rates of yield to regosols of loamy texture (Cajales and Cd Altamirano) and the lower yields corresponded to the regosol of clay texture (Cocula) and vertisol sandy clay loam (El Escondido), trends in a way consistent with expressed by Cano and Arredondo (2004), regarding the fine-grained zeolite in effectiveness than the coarse grain size and the best yield responses are obtained in soils of medium to coarse texture.

The latter is confirmed by observing in Table 2 that among the cases cited, the greatest differences in yield between treatments with powder and granulated clinoptilolite corresponded to the towns of Ciudad Altamirano (1 923 kg) and Cajales (1 906 kg) in regosols loam, and the smallest differences were recorded in Cocula (645 kg) in regosol clay and the Escondido (40 kg) in vertisol sandy clay loam.

As for the statistical differences in plant height detected in PAVAL of Cajales, Cocula and El Escondido, the treatment that presented the maximum value was never the same in each case. And in four of the six test sites, the highest plant height corresponded to only one but not both treatments of clinoptilolite, while in four locations the largest stem diameter was obtained with the control treatment without clinoptilolite.

Even if the level of each location the effect of differences in plant density observed between treatment and the chemical composition of clinoptilolite can't be underestimated, the absence of significant response of maize irrigation treatments clinoptilolite + fertilizers, both with regard to the

textura franca (Cajales y Cd. Altamirano) y los rendimientos relativamente menores al regosol arcilloso (Cocula) y vertisol migajón arcillo arenoso (El Escondido), tendencias que en cierto modo coinciden con lo expresado por Cano y Arredondo (2004), respecto a que la zeolita de granulometría fina supera en efectividad a la de granulometría gruesa y las mejores respuestas en rendimiento se obtienen en suelos de textura media a gruesa. Esto último se confirma al observar en el Cuadro 2 que entre los casos citados, las mayores diferencias en rendimiento entre los tratamientos con clinoptilolita en polvo y granulada correspondieron a las localidades de Cd. Altamirano (1 923 kg) y Cajales (1 906 kg) en regosoles francos, y las menores diferencias se registraron en Cocula (645 kg) en regosol arcilloso y El Escondido (40 kg) en vertisol migajón arcillo arenoso. En cuanto a las diferencias estadísticas en altura de planta detectadas en las PAVAL de Cajales, Cocula y El Escondido, el tratamiento que obtuvo el máximo valor nunca fue el mismo en cada caso. Y en cuatro de las seis localidades de prueba, la mayor altura de planta correspondió a sólo uno pero no a los dos tratamientos con clinoptilolita, mientras que en cuatro localidades el mayor diámetro de tallo se obtuvo con el tratamiento testigo sin clinoptilolita.

Aun cuando a nivel de cada localidad el efecto de las diferencias en densidad de plantas observadas entre tratamientos y la composición química de la clinoptilolita no puede ser menospreciado, la ausencia de respuesta significativa del maíz de riego a los tratamientos con clinoptilolita + fertilizantes, tanto en lo que se refiere a la altura de planta y grosor del tallo, como a rendimiento de grano, puede adjudicarse al uso en este caso de dosis de clinoptilolita comparativamente muy bajas a las usadas para arroz en combinación con fertilizante amoniacal en Japón que llegan hasta 80 t ha⁻¹ (Barbarick y Pirela, 1983) y para experimentos de maíz en campo en los Estados Unidos de América que van de 2 a 8 t ha⁻¹ (Pirela *et al.*, 1983), en suelos además de textura media a fina donde su efecto es bajo o nulo (Cano y Arredondo, 2004), uno de ellos incluso con pH ácido donde es contraproducente la adición de zeolita (Zorpas *et al.*, 2002).

Aunque en México, las dosis experimentales en maíz han variado desde 0.5 a 8 t ha⁻¹ de zeolita, sola o combinada con estiércol, composta y fertilizantes químicos, sin llegar aún a definir una dosis óptima para siembras comerciales, sólo la mejor tendencia que consiste en sustituir entre 30 a 50% de la dosis de fertilización química recomendada (Arredondo *et al.*, 2000).

plant height and thickness of the stem, as grain yield, can be ascribed in this case to the use of dosages of comparatively very low clinoptilolite to those used for rice in combination with ammonium fertilizer in Japan that reach 80 t ha⁻¹ (Barbarick and Pirela, 1983).

For experiments in field corn in the United States ranging from 2 to 8 t ha⁻¹ (Pirela *et al.*, 1983), in soil in addition of medium to fine texture, where its effect is low or zero (Cano and Arredondo, 2004) one of them even with an acid pH where it can be counterproductive the addition of zeolite (Zorpas *et al.*, 2002). While in Mexico, corn experimental doses have varied from 0.5 to 8 t ha⁻¹ of zeolite, alone or combined with manure, compost and chemical fertilizers, without defining an optimal dose for commercial planting, only the best trend is to replace 30 to 50% of the recommended dose of chemical fertilizer (Arredondo *et al.*, 2000).

According to the comparison of means test of the response variables among localities, significant differences were detected ($p=0.05$) in all variables by effect of localities, especially for its highest mean plant height, stem diameter and grain yield of the PAVAL of Cajales, Cd Altamirano and Cocula, as corresponding to the corn hybrid H-565, whose results should be taken with reservation given the observed differences in plant density, texture and pH of soils.

The combined analysis also reaffirmed that the overall averages of plant height, stem diameter, plant density, number of ears and grain yield as a result of the three treatments were statistically equal. This means that while the substitution of 15% of the fertilization formula for granulated clinoptilolite did not cause significant decreases in grain yield, unlike those reported by (Challoux *et al.*, 1997; Hernández, 2000; John *et al.*, 2001) and John *et al.*, 2002, neither led to increases in yield that resulted significantly higher than the control where the formula was used only complete chemical fertilization (Table 3).

It should be noted that although efforts were made to have the same plant densities per treatment in all PAVAL, mainly in those where the hybrid was planted, were not lower than 50 000 plants ha⁻¹, where the plant density average per treatment (Table 2) or by PAVAL stood below this value (Table 3) was due to the inevitable loss of plants in vegetative stage by the persistent pests, specifically stem borer, *Zeadiatraea grandiosella* Dyar in the

Cuadro 2. Análisis individual de comparación de medias del rendimiento y caracteres agronómicos en parcelas de validación de maíz tratadas con zeolita clinoptilolita más fertilizantes en seis localidades de Guerrero. Otoño-invierno 2008 a 2009.**Table 2. Individual analysis for comparison of means of yield and agronomic characters in corn validation plots treated with clinoptilolite zeolite plus fertilizers in six villages in Guerrero. Fall-Winter 2008 to 2009.**

Localidad/Tratamientos ¹	Densidad de plantas (pl ha ⁻¹)	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Número de mazorcas ha ⁻¹	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)
Cocula					
FQ+ZG	56 000a	2.47 b	2.49a	54 250a	6 698a ²
FQ+ZP	53 250a	2.51ab	2.58a	51 750a	7 343a
FQ (90-60-00)	51 500a	2.54a	2.60a	49 250a	7 020a
C.V. (%)	9.447	1.629	5.873	11.742	14.864
Tukey (0.05)	8 541	0.07	0.25	10 253	1 761
Iguala					
FQ+ZG	49 500a	2.04a	2.14a	43 750a	4 726a
FQ+ZP	58 250a	1.95a	2.05a	49 750a	3 804a
FQ (90-60-00)	57 750a	2.03a	2.18a	47 750a	3 973a
C.V. (%)	11.123	5.331	9.134	11.357	21.212
Tukey (0.05)	10 354	0.18	0.33	9 022	1 492
Cajales					
FQ+ZG	51 000a	2.55 b	2.41a	49 750a	7 518a
FQ+ZP	49 500a	2.72a	2.65a	54 000a	9 424a
FQ (90-60-00)	57 500a	2.52ab	2.62a	57 250a	8 358a
C.V. (%)	11.464	3.137	7.481	10.338	13.708
Tukey (0.05)	10 188	0.14	0.32	9 361	1 951
Cd. Altamirano					
FQ+ZG	47 500a	2.63a	2.41a	43 750a	6 445a
FQ+ZP	54 750a	2.63a	2.45a	53 250a	8 368a
FQ (90-60-00)	47 000a	2.62a	2.55a	46 750a	7 308a
C.V. (%)	13.800	4.802	6.136	12.877	18.994
Tukey (0.05)	11 584	0.21	0.25	10 411	2 363
Sta. Bárbara					
FQ+ZG	59 750a	2.66a	2.10a	48 750a	5 717a
FQ+ZP	44 750 b	2.70a	2.12a	38 750 b	3 980a
FQ (90-60-00)	57 250a	2.72a	2.03a	49 750a	5 393a
C.V. (%)	9.708	6.801	4.373	12.590	25.200
Tukey (0.05)	8 831	0.31	0.15	9 718	2 139
El Escondido					
FQ+ZG	52 250a	2.43a	2.33a	49 000a	6 457a
FQ+ZP	44 250a	2.21 b	2.34a	48 750a	6 497a
FQ (90-60-00)	41 750a	2.37ab	2.44a	40 000 b	5 600a
C.V. (%)	14.293	4.837	5.557	10.210	17.182
Tukey (0.05)	11 113	0.19	0.22	7 910	1 793

¹Tratamientos: FQ+ZG= 85% de fertilización química + 15% de zeolita granulada con base en el peso de ingredientes (urea y superfosfato triple) que completan la fórmula 90-60-00; FQ+ZP= 100% de fertilización química + 600 kg ha⁻¹ de zeolita polvo; FQ (90-60-00)= testigo, 100% de fertilización química sin zeolita; ²Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

De acuerdo con la prueba de comparación de medias de las variables respuesta entre localidades, sí se detectaron diferencias significativas ($p=0.05$) en todas las variables por efecto de las localidades, destacando por sus mayores

town of Ciudad Altamirano, white grub, *Phyllophaga* sp. in El Escondido and fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Iguala and Cajales undoubtedly decreased the yield.

promedios de altura de planta, diámetro de tallo y rendimiento de grano las PAVAL de Cajales, Cd. Altamirano y Cocula, en lo que corresponde al híbrido de maíz H-565, cuyos resultados sin embargo deben tomarse con reserva dadas las diferencias observadas en cuanto a densidades de plantas y textura y pH de los suelos (Cuadro 3). El análisis combinado reafirmó además que los promedios generales de altura de planta, diámetro de tallo, densidad de plantas, número de mazorcas y rendimiento de grano por efecto de los tres tratamientos fueron estadísticamente iguales. Esto significa que si bien la sustitución de 15% de la fórmula de fertilización por clinoptilolita granulada no causó descensos significativos en rendimiento de grano, a diferencia de lo reportado por (Challoux *et al.*, 1997; Hernández, 2000; John *et al.*, 2001 y John *et al.*, 2002), tampoco propició incrementos de rendimiento que resultaran significativamente superiores al testigo donde se usó sólo la fórmula completa de fertilización química.

A noteworthy phenomenon is that from germination until just before the flowering of culture in all PAVAL was always noticed a slight advantage in color and plant vigor for the lot corresponding to the granulated clinoptilolite treatment with respect to the control and the lot treated with clinoptilolite powder. This difference became less noticeable as the vegetative stage ended up to be almost imperceptible at the beginning of spiking. Furthermore, it was also observed that the plants in the plots treated with clinoptilolite, either in powder or grain, the foliage remained green further more from the normal cycle stipulated in 125 days after sowing.

According to the analysis of the interaction treatments x locations in the PAVAL of Ciudad Altamirano, Cajales, Santa Barbara and Iguala the three treatments had significantly different effects with respect to grain yield

Cuadro 3. Análisis combinado de la comparación de medias del rendimiento y caracteres agronómicos en parcelas de validación de maíz tratadas con zeolita clinoptilolita más fertilizantes en seis localidades de Guerrero. Otoño-invierno 2008 a 2009.

Table 3. Combined analysis of the mean comparison of yield and agronomic characters in corn validation plots treated with clinoptilolite zeolite plus fertilizers in six villages in Guerrero. Autumn-winter 2008 to 2009.

Factor de variación	Densidad de plantas (pl ha ⁻¹)	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Número de mazorcas ha ⁻¹	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)
Localidades					
Cocula	53 583a	2.51 b	2.56a	51 750ab	7 020 bc ²
Iguala	55 167a	2.01 d	2.08 c	47 083 b	4 168 e
Cajales	52 667a	2.63ab	2.56a	53 667a	8 433a
Cd. Altamirano	49 750ab	2.63ab	2.47ab	47 917ab	7 374ab
Sta. Bárbara	53 917a	2.69a	2.08 c	45 750 b	5 030 de
El Escondido	46 083 b	2.34 c	2.37 b	45 917 b	6 185 cd
C.V. (%)	10.915	4.617	6.854	11.463	17.069
Tukey (0.05)	6 185	0.12	0.18	6 097	1 188
Tratamientos ¹					
FQ+ZG	52 667a	2.47a	2.31a	48 208a	6 260a
FQ+ZP	50 792a	2.45a	2.36a	49 375a	6 569a
FQ (90-60-00)	52 125a	2.48a	2.40a	48 458a	6 275a
C.V. (%)	10.915	4.617	6.854	11.463	17.069
Tukey (0.05)	3 557	0.07	0.10	3 507	683

¹Tratamientos: FQ+ZG= 85% de fertilización química + 15% de zeolita granulada con base en el peso de ingredientes (urea y superfosfato triple) que completan la fórmula 90-60-00; FQ+ZP= 100% de fertilización química + 600 kg ha⁻¹ de zeolita polvo; FQ (90-60-00)= testigo, 100% de fertilización química sin zeolita; ²Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Cabe aclarar que, aunque de antemano se procuró que las densidades de plantas por cada tratamiento en todas las PAVAL, principalmente en aquellas donde se sembró el híbrido, no fueran menores a las 50 000 plantas ha⁻¹, los casos en que la densidad de plantas promedio por tratamiento (Cuadro 2) o por PAVAL se situó debajo de

and, excluding the case of Ciudad Altamirano, also differed in plant height (Table 4). In PAVAL of Cajales, Cocula and Ciudad Altamirano the highest yield was obtained with the treatment of clinoptilolite powder, exceeding the control and treatment with granulated clinoptilolite, that figured in last place, but in El Escondido although treatments with

ese valor (Cuadro 3) fue debido a la inevitable pérdida de plantas en etapa vegetativa por el persistente ataque de plagas, específicamente barrenador del tallo, *Zeadiatraea grandiosella* Dyar en la localidad de Cd. Altamirano, gallina ciega, *Phyllophaga* sp. en El Escondido y gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), en Iguala y Cajales que sin duda mermaron el rendimiento.

Un fenómeno digno de destacar es que desde la germinación hasta poco antes de la floración del cultivo, en todas las PAVAL se notó siempre una leve ventaja en coloración y vigor de las plantas a favor del lote correspondiente al tratamiento con clinoptilolita granulada respecto al testigo y el lote tratado con clinoptilolita en polvo. Dicha diferencia fue haciéndose menos notoria conforme finalizaba la etapa vegetativa hasta hacerse casi imperceptible al comenzar el espigue. Además, también se observó que las plantas en los lotes tratadas con clinoptilolita, sea en polvo o grano, se mantuvieron con parte del follaje verde más allá del ciclo normal estipulado en 125 días después de la siembra.

De acuerdo con el análisis de la interacción tratamientos x localidades, en las PAVAL de Cd. Altamirano, Cajales, Sta. Bárbara e Iguala los tres tratamientos tuvieron efectos significativamente diferentes respecto a rendimiento de grano y, excluyendo el caso de Cd. Altamirano, también difirieron en cuanto a altura de plantas (Cuadro 4). En las PAVAL de Cajales, Cocula y Cd. Altamirano el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de clinoptilolita en polvo, superando al testigo y al tratamiento con clinoptilolita granulada que figuró en último lugar, pero en El Escondido aunque los tratamientos con clinoptilolita superaron al testigo, no difirieron entre sí, esto debido más probablemente al pH ácido que a la textura migajón arcillo arenosa del suelo.

El resto de las PAVAL, en cambio, reflejaron un mayor rendimiento en el tratamiento con clinoptilolita granulada seguido por el testigo y al último se ubicó el tratamiento con clinoptilolita en polvo.

Estos resultados refuerzan la teoría ya existente acerca de la mayor eficiencia de la clinoptilolita en polvo en comparación de la clinoptilolita granulada para mejorar aunque sea en bajo porcentaje los rendimientos de maíz en campo, sobre todo en suelos de textura media o franca y de tipo alcalino porque en suelos arcillosos o de pH bajo las diferencias en rendimiento con la aplicación de clinoptilolita en polvo o granulada son insignificantes o mínimas y tienden a equipararse al tratamiento que sólo incluye fertilización química.

clinoptilolite exceeded the witness did not differ among themselves, this most likely due to the acidic pH of the sandy clay loam texture of the soil.

Cuadro 4. Análisis combinado de la interacción tratamientos x localidades en parcelas de validación de maíz tratadas con zeolita clinoptilolita más fertilizantes en seis localidades de Guerrero. Otoño-invierno 2008 a 2009.

Table 4. Combined analysis of the interaction treatments x locations in validation plots of corn treated with zeolite clinoptilolite plus fertilizers in six localities in Guerrero. Autumn-winter 2008 to 2009.

Localidad	Factor de variación Tratamiento ¹	Altura de planta (m)	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)
Cajales	FQ+ZP	2.72a	9 424a
	FQ+ZG	2.55abc	7 518abc
Cd.	FQ (90-60-00)	2.62ab	8 358ab
	FQ+ZP	2.63ab	8 369ab
Altamirano	FQ+ZG	2.63ab	6 445 cde
	FQ (90-60-00)	2.62ab	7 308abc
Cocula	FQ+ZP	2.51abc	7 343abc
	FQ+ZG	2.47 bc	6 699 bcd
El Escondido	FQ (90-60-00)	2.54abc	7 020 bcd
	FQ+ZP	2.21 e	6 497 bcd
	FQ+ZG	2.43 cd	6 457 bcd
	FQ (90-60-00)	2.37 d	5 600 cdef
Sta. Bárbara	FQ+ZP	2.70a	3 980 f
	FQ+ZG	2.66ab	5 717 cdef
Iguala	FQ (90-60-00)	2.72a	5 393 def
	FQ+ZP	1.95 g	3 804 g
	FQ+ZG	2.04 ef	4 726 ef
	FQ (90-60-00)	2.03 fg	3 973 fg

¹Tratamientos: FQ+ZG=85% de fertilización química + 15% de zeolita granulada con base en el peso de ingredientes (urea y superfosfato triple) que completan la fórmula 90-60-00; FQ+ZP=100% de fertilización química + 600 kg ha⁻¹ de zeolita polvo; FQ (90-60-00)= testigo, 100% de fertilización química sin zeolita; ²Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

The remaining PAVAL, however, showed higher yield in granular clinoptilolite treatment followed by the control and at last was placed the treatment with powdered clinoptilolite.

These results reinforce the existing theory about the efficiency of clinoptilolite powder compared to granulated clinoptilolite to improve even in low percentage yields of corn in the field, especially in medium-loam and alkaline textured soils because in clay soils or low pH the differences in yield with the application of granulated or powdered clinoptilolite are insignificant or minimal and tend to be equated to the treatment that includes only chemical fertilization.

Por último, en lo que se refiere a los efectos favorables de la mezcla de zeolitas más fertilizantes sobre el incremento de la altura de planta respecto al uso sólo de fertilizantes químicos las evidencias no fueron tan notorias ni consistentes.

Conclusiones

Por sus efectos aislados de las variaciones ambientales y de manejo tecnológico que se presentaron en cada localidad de prueba durante el ciclo vegetativo del maíz de riego, la sustitución con clinoptilolita granulada de 15% en peso de los ingredientes de la fórmula de fertilización 90-60-00 o la adición a ésta de 600 kg ha⁻¹ de clinoptilolita en polvo, no incrementaron significativamente los rendimientos de grano ni mejoraron la altura y grosor de las plantas en comparación a cuando se aplicó sola tal fórmula.

Tomando en consideración el tipo, textura y pH del suelo, el tratamiento que mayores probabilidades ofrece de incrementar sustancialmente el rendimiento de grano del maíz de riego en los regosoles de textura media y pH alcalino que predominan en el estado de Guerrero, es la adición al menos de 600 kg ha⁻¹ de clinoptilolita en polvo a la fórmula de fertilización recomendada.

Agradecimientos

A la Fundación Produce de Guerrero A. C. por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto cuyos resultados aquí se publican, y un reconocimiento especial para el Dr. Miguel Ángel Cano García, investigador del Centro de Investigación Regional Pacífico Sur del INIFAP por sus orientaciones y sugerencias útiles para el mejor manejo y análisis de la respuesta de la zeolita a nivel de campo y por su gran gentileza al facilitarme sus obras publicadas y parte de la bibliografía de autores extranjeros sobre el tema en cuestión. Se agradece también al M. C. Noé Alarcón Cruz, investigador del Campo Experimental Iguala por facilitarme la información sobre variedades de suelos de Guerrero.

Lastly, in regard to the favorable effects of the mixture of zeolites plus fertilizer on the increase in plant height regards the use of chemical fertilizers only evidence was not as striking and consistent.

Conclusions

Due to its isolated effects of environmental changes and technological management that occurred in each test site during the growing cycle of corn irrigation, the substitution with granulated clinoptilolite of 15% in weight of the ingredients in the fertilization formula 90-60 -00 or the addition thereto of 600 kg ha⁻¹ of clinoptilolite powder, did not significantly increase grain yields, neither improved height and plant thickness compared to when applied one such formula.

Taking into consideration the type, texture and soil pH, the more likely treatment that offers substantially increase grain yield of irrigated corn in medium textured regosols and alkaline pH prevailing in the state of Guerrero, is the addition of less than 600 kg ha⁻¹ of clinoptilolite powder to the recommended fertilization formula.

End of the English version



Literatura citada

- Arredondo, V. C.; Cano, G. M. A.; Contreras, H. R.; González, C. M. y Cabrera, T. J. M. 2000. Rocas minerales, compostas, estiércoles y abonos verdes; una alternativa a la fertilización química del maíz en Oaxaca. *In: Foro Nacional Investigación para el Desarrollo Regional*. SIBEJ-CONACyT. Oaxaca, Oaxaca. 13-18 p.
- Barbarick, K. A. and Pirela, H. J. 1983. Agronomic and horticultural uses of zeolites: a review. *In: Pound, W. G. and Mumpton, F. A. (Eds.). Zeo-agriculture: use of natural zeolites in agriculture and aquaculture*. Westview Press. Boulder, Colorado. 93-103 p.

- Canabal, C. B. y Flores, F. J. 2004. Montañeros: actores sociales en la Montaña del estado de Guerrero. UAM-Xochimilco, UACH y El Atajo Ediciones. México. 332 p.
- Challoux, M.; Cardoza, H.; del Vallín, G.; Naranjo, M. y Hernández, S. 1997. Fertilización del tomate con fórmula completa enriquecida con zeolita. *In: resúmenes de evento científico "producción de cultivos en condiciones tropicales"*. Ciudad de La Habana, Cuba. s.p.
- De la Torre, S. M. L.; Grande, G. J. A. y Sainz, S. A. 2000. Aplicación de zeolita en rocas detríticas para la reducción del tránsito de nutrientes hacia zona saturada. Comunicación del grupo de recursos y calidad del agua. Universidad de Huelva. Palos de Frontera, Huelva, España. 63-71 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1990. Mapa de variedades de suelo del estado de Guerrero. (Base de datos).
- Gobierno del estado de Guerrero. 2000. Plan estatal de desarrollo 1999-2005. Programa de Desarrollo Rural y Recursos Naturales "Al campo y con los campesinos". Chilpancingo, Guerrero. 52 p.
- Hernández, D. M. I. 2000. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición del tomate. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana, Cuba. 82 p.
- John, C. M. 2002. La zeolita natural y su papel en el manejo ecológico del nitrógeno para el cultivo del tomate. Tesis de Maestría en Ciencias en Nutrición de Plantas y Biofertilizantes. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas San José de las Lajas. La Habana, Cuba. 95 p.
- John, C. M.; Vantour, A.; Salomón, S.; Almogoea, A. y Pino, N. 2000. La zeolita en la disminución del impacto ambiental del nitrógeno. Ed. Génesis. Porto Alegre do Sul, Brasil. 110 p.
- John, C. M.; del Vallín, G. y Dueñas, G. 2001. Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea en los cultivos de papa y tomate. Geocuba, Investigación y Consultoría. Ciudad Habana, Cuba. 9 p. www.zeolitanatural.com/docs./suelonitrogen2.pdf (consultado octubre, 2010).
- Kusá, H.; Ruzsek, P. and Ciahotný, K. 2002. Soil application of zeolite (clinoptilolite) saturated by ammonia from waste air produced in the animal production. *In: Vengloský, J. and Gréserová, G. (Eds.). Recycling of agricultural. Municipal and industrial residues en agriculture. Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network. University of Veterinary Medicine. Kosice, Slovak Republic. 183-186 p.*
- Lewis, M. D.; Moore, F. D. and Goldsberry, K. L. 1983. Ammonium-exchanged clinoptilolite and granulated clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. *In: Pound, W.G. and Mumpton, F.A. (eds). Zeo-agriculture: use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. Westview Press. Boulder, Colorado. 105-111 p.*
- Mumpton, F. A. 1983. Natural zeolites. *In: Pound, W. G. and Mumpton, F. A. (eds.). Zeo-agriculture: use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. Westview Press. Boulder, Colorado. 33-43 p.*
- Ortiz, S. C. A.; Pájaro, H. D. y Gutiérrez, C. M. C. 1994. Introducción a la leyenda del mapa mundial de suelos FAO/UNESCO. Versión 1988. Cuaderno de Edafología 20. COLPOS, Instituto de Recursos Naturales, Edafología. 40 p.
- Rakovan, J. 2004. A word to the wise: zeolites. *Rocks and minerals. 79:271-273.*
- Reyes, J. M.; González, M. R.; Sarabia, R. G; Ortiz, S. C. A. y Pájaro, H. D. 1995. Aptitud de la tierra para la producción de maíz de temporal en el estado de Guerrero. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero. 89-90 p.
- Ríos, P. A.; Toledo, M. C. y Bartra, A. (Coords.). 2009. Construyendo el desarrollo rural integral y sustentable en Guerrero. Vol. II: La conversión del programa de subsidio al fertilizante. Gobierno del estado de Guerrero. Secretaría de Desarrollo Rural y FAO-México. México, D. F. 136 p.
- Sheppard, R. A. 1983. Characterization of zeolitic materials in agricultural research. *In: Pound, W. G. and Mumpton, F. A. (eds.). Zeo-agriculture: use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. Westview Press. Boulder, Colorado. 69-78 p.*

- Urbina-Sánchez, E.; Baca-Castillo, G.A.; Núñez-Escobar, R.; Colinas-León, M.T; Tijerina-Chávez, L. y Tirado-Torres, J. L. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} y diferente granulometría. *Agrociencia* 40:419-429.
- Urquiaga, S. y Zapata, F. 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Editorial Génesis. Porto Alegre Rio Grande do Sul, Brasil. 110 p.
- Zorpas, A. A.; Dimitris, A.; Panagiotios, K.; Maria, H. and Giovannis, Z. 2002. Compost quality and use from sewage sludge, organic fraction of municipal solid waste and natural zeolite clinoptilolite. *In*: Vengloský, J. and Gréserová, G. (eds.). *Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues en Agriculture*. Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network. University of Veterinary Medicine. Kosice, Slovak Republic. 381-389 p.