



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EFFECTO DE LA DIATOMITA EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO PARA
REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE
FERTILIZANTES QUÍMICOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA

LUCIA FABILA MARTÍNEZ

DIRIGIDA POR:

DR. SALVADOR ADAME MARTÍNEZ

M. EN C. RODOLFO SERRATO CUEVAS

Toluca, México, Diciembre de 2013





UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

3° (EV. DE GRADO)
OFICIO NO 506/2013

Toluca, México, 07 de noviembre de 2013

P. DE MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
LUCIA FABILA MARTINEZ
FACULTAD DE QUIMICA
P R E S E N T E

La que suscribe Directora de la Facultad de Química, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación de Grado estará formado por:

Dr. Juan Carlos Sánchez Meza
PRESIDENTE

Dr. Salvador Adame Martínez
SECRETARIO

Dra. Araceli Amaya Chávez
PRIMER VOCAL

M. en C. Isaías Valencia Becerril
SEGUNDO VOCAL

M. en C. Rodolfo Serrato Cuevas
TERCER VOCAL

Dr. Alejandro Rafael Alvarado Granados
SUPLENTE

Dr. Miguel Angel Balderas Plata
SUPLENTE

FIRMA

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2013, 50 Aniversario Luctuoso del Poeta Heriberto Enríquez"

M. en A.P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARIA GONZALEZ
DIRECTORA



c.c.p.Archivo

www.uaemex.mx

Facultad de Química • Paseo Colón Esq. Paseo Tollocan • Toluca Estado de México
Tel. y Fax: 217-5109 y 217-3890 • fquim@uaemex.mx

Este trabajo se realizó con el apoyo de la empresa NASE Productos Naturales, dedicada a la elaboración de productos biológicos y orgánicos de uso agrícola en colaboración con la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México quien prestó el área experimental utilizada para llevar a cabo el experimento de campo, así mismo aportó la semilla y la maquinaria necesaria para realizar las labores del cultivo. El laboratorio de suelos del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF), permitió la realización de los análisis correspondientes a las muestras de suelo.

La presente investigación se realizó mediante el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales de la Facultad de Química dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México y se incluyó en:

Área: Calidad Ambiental

Línea: Prevención, Control y Efectos de la Contaminación Ambiental

El presente trabajo fue aceptado como protocolo de investigación ante la Comisión Académica de la Maestría y el Doctorado en Ciencias Ambientales, en su sesión del día 30 de noviembre de 2011, bajo el título **“Efecto de la diatomita en las propiedades del suelo para reducir el impacto ambiental causado por el uso de fertilizantes químicos”**, asignando el número de registro: 11/MCA/2012.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca otorgada a lo largo de la presente investigación.

A la empresa NASE Productos Naturales, por la oportunidad de conocer y probar en la investigación la diatomita como fertilizante.

A la Universidad Autónoma del Estado de México, quien a través de la Facultad de Química brinda el programa de Maestría en Ciencias Ambientales.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas por las facilidades prestadas para la realización del experimento en campo.

Al personal responsable del CIEAF por todo el apoyo brindado para la realización de los análisis de suelo.

A mis tutores por el apoyo brindado antes, durante y después de la investigación.

A todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proyecto de vida que se ha logrado concluir.

RESUMEN

Se evaluó el efecto que produce la tierra de diatomita en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*, L.). Se establecieron seis tratamientos, en cuatro de ellos se utilizó tierra de diatomeas con dos grados de fineza a dos concentraciones (289) 20 y 40 kg/ha y (400-P) 18 y 36 kg/ha respectivamente. Los dos tratamientos restantes consistieron de un fertilizante orgánico líquido, obtenido de los lixiviados del composteo de estiércol vacuno a dosis de 2 y 4 l/ha. El testigo fue representado por la muestra de suelo tomada antes de la aplicación de los tratamientos. El diseño experimental fue un bloques completos al azar con cinco repeticiones (Olivares, 1996) y la planta indicadora fue maíz de la variedad HC8.

Las variables evaluadas en la planta de maíz fueron: altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de grano (PG), peso de olote (PO) y rendimiento (R). En suelo se analizaron: textura, densidad real (DR), densidad aparente (DA), pH, carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na).

Las propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos no mostraron diferencias significativas estadísticamente. Por el contrario, las características químicas nos indican que los valores después de la aplicación de los tratamientos son más altos en pH, CO, MO, CE, N, P, K, Ca y Na con respecto al testigo, no encontrando diferencias para CIC y Mg. Con el anova y comparación de medias en relación a Tukey de las propiedades químicas, se pudo observar que el empleo como fertilizante de tierras diatomeas 289, 400-P y el fertilizante orgánico líquido a las dosis evaluadas, mostraron diferencias significativas principalmente para las características de CO, MO, CE, así como en los elementos nutritivos de N, K y Na. En las características de pH, P, Ca, CIC y Mg no se encontraron diferencias estadísticamente significativas; sin embargo, los resultados de los análisis indican que si hubo un ligero aumento en los valores con respecto al testigo, por lo que se considera que la aplicación tanto de diatomeas como de fertilizante orgánico líquido contribuyeron a mejorar las características químicas del suelo por lo que pueden ser utilizados en la fertilización del cultivo de maíz.

ABSTRACT

In this study is evaluated the effect of the diatomaceous earth on physical and chemical properties of soil and grow maize (*Zea mays* L.). Six treatments were established, in four treatments diatomaceous earth was used with two degrees of fineness at two concentrations (289) 20 and 40 kg/ha and (400-P) 18 and 36 kg/ha respectively. The two remaining treatments consisted of a liquid organic fertilizer, leachate obtained from cattle manure composting at doses of 2 and 4 l/ha. The control was represented by the soil sample taken before treatment application. The experimental design was randomized complete block with five replications (Olivares, 1996) and the corn plant was HC8 indicator.

The variables evaluated were corn plant: plant height (AP), ear height (AM), ear length (LM), ear diameter (DM), number of rows of cob (NHM), grain weight (PG), cob weight (PO) and yield (R). In analyzed soil texture, particle density (RD), bulk density (BD), pH, organic carbon (OC), organic matter (OM), electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na).

The physical properties of the soil before and after applying the treatments were not significantly different stadistical. By contrast, the chemical characteristics indicate that the values after the application of treatments are higher pH, CO, MO, CE, N, P, K, Ca and Na with respect to the control, no differences were found for CIC and Mg.

By ANOVA and means comparison Tukey regarding the chemical properties, it was observed that the use diatomaceous earth as fertilizer 289, 400-P and liquid organic fertilizer at the current dose showed significant differences mainly for the characteristics of CO, MO, CE, as well as the nutrients of N, K and Na. In the characteristics of pH, P, Ca, Mg CIC and found no statistically significant differences, but the results of the analysis indicate that if there was a slight increase in values relative to the control, so it is considered that the diatomaceous implementing both liquid organic fertilizer helped improve soil chemical characteristics and can therefore be used in the corn crop fertilization.

CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Origen de la diatomita	3
1.3. Importancia de las diatomitas	4
1.4. Usos de polvos inertes en el sector agrícola	4
1.5. Diatomita como fertilizante	5
1.6. Panorámica del Suelo como tema de estudio ambiental	7
1.6.1. Propiedades físicas del suelo	9
1.6.2. Propiedades químicas del suelo	9
1.6.3. Propiedades biológicas del suelo	9
1.6.4. Degradación del recurso suelo	10
1.6.4. Contaminación del suelo por fertilizantes químicos	11
1.7. Importancia de los oligoelementos	12
1.8. El silicio en las plantas	13
CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	15
2.1. JUSTIFICACIÓN	15
2.2. HIPÓTESIS	17
2.3. OBJETIVOS	18
2.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Ubicación de la zona de estudio	19
3.2. Muestreo de suelo	20
3.3. Diseño experimental	21
3.4. Diseño y descripción de los tratamientos	22
3.4.1. Aplicación de los tratamientos	23
	vii

3.5. Material experimental	23
3.6. Desarrollo experimental	23
3.6.1. Establecimiento del cultivo	23
3.6.2. Variables evaluadas	24
3.7. Análisis estadístico y escala de evaluación	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	26
4.1. Resultados enviados	26
4.1.1. Artículo	27
4.2. Resultados no enviados para las variables en suelo	45
4.2.1. Correlación para las variables evaluadas en suelo	45
4.2.2. Componentes principales sobre la correlación	46
4.3. Resultados en el rendimiento del cultivo	47
4.3.1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en planta	47
4.3.2. Gráficos dosis-respuesta de cada una de las variables evaluadas en el cultivo de maíz.	48
4.3.3. Correlación para las variables evaluadas en el cultivo de maíz	56
4.3.4. Análisis de factores de los componentes principales sobre la correlación	57
CAPITULO V. DISCUSION GENERAL	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
Conclusiones	65
Recomendaciones	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
ANEXOS	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Depósito de diatomita	3
Figura 2. Causas que provocan la contaminación del suelo.	8
Figura 3. Superficie afectada por degradación química de suelos en México, 2002	11
Figura 4. Zona de estudio	19
Figura 5. Profundidad de muestreo (40 cm)	20
Figura 6. Muestreo de suelo a 20 cm de profundidad	20
Figura 7. Trazado de las unidades experimentales mediante el DBA	21
Figura 8. Agrietamiento del suelo en condiciones secas	22
Figura 9. Distribución de los factores en el análisis de componentes principales.....	46
Figura 10. Altura de planta por tratamiento	48
Figura 11. Altura de mazorca	49
Figura 12. Diámetro de mazorca	50
Figura 13. Longitud de mazorca.....	51
Figura 14. Número de hileras	52
Figura 15. Peso de olote	53
Figura 16. Peso de grano	54
Figura 17. Rendimiento	55
Figura 18. Gráfico de componentes principales para las variables del cultivo	57
Figura 20. Secado de las muestras a temperatura ambiente	77
Figura 21. Parcela experimental (primera semana de junio)	78
muestra una germinación irregular debida a la escases de lluvia	78
Figura 22. Deshierbe del cultivo, anterior a la segunda aplicación de los tratamientos.....	78
Figura 23. Hojas dañadas por helada ocurrida a finales de mayo de 2012 y hojas sanas	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición mineral de la tierra diatomea.	6
Cuadro 2. Elementos que constituyen la corteza terrestre.....	13
Cuadro 3. Tratamientos evaluados	22
Cuadro 4. Características físico químicas y método utilizado para determinar la fertilidad del suelo.....	24
Cuadro 5. Correlación para las variables en suelo.....	45
Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables evaluadas en el cultivo.....	47
Cuadro 7. Correlación para las variables en planta	56

INTRODUCCIÓN

En México, el 44.9% de la superficie nacional presenta algún signo de degradación, siendo la degradación química del tipo disminución de la fertilidad del suelo uno de los procesos de degradación más importantes con 17.8% (SEMARNAT-CP, 2003). La degradación química puede ser provocada por diversas causas tales como pérdida de nutrientes, acidificación, salinización y aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. La degradación de este componente del ecosistema da como resultado consecuencias ecológicas, sociales y económicas (Hidalgo, 2010).

La fertilidad del suelo ha jugado un papel muy importante para la obtención de buenas cosechas, ya en la antigüedad se hablaba del uso de cal, la adición de residuos vegetales y el uso de estiércoles para restablecer la fertilidad de los suelos que menguaban en producción. El uso de elementos químicos fertilizantes es relativamente reciente y se incrementó de manera considerable a finales de la segunda guerra mundial acentuando su uso entre 1950 a 1964 (Tisdale y Nelson, 1982), ya que la utilización de una mayor cantidad de fertilizantes permitía mantener un elevado nivel de producción, debido a ello, el consumo mundial de fertilizantes se extendió rápidamente. Sin embargo, estudios realizados muestran que algunos países están encontrando dificultades para aumentar sus rendimientos a pesar de las dosis cada vez más elevadas de fertilizantes; y otros, con altos niveles de uso de fertilizantes, enfrentan problemas ambientales derivados de su uso intensivo e indiscriminado (Alexandratos, 1995).

La problemática de los fertilizantes químicos es diversa, ya que si bien es cierto que contribuyen de manera significativa a incrementar los rendimientos de los cultivos, también representan un problema ambiental al ser utilizados de forma excesiva y sin ningún tipo de control. Por otra parte se encuentra el factor económico que genera un alto costo de producción en cultivos básicos y esto afecta principalmente a productores de autoconsumo.

Los sistemas de agricultura de conservación, sostienen que los rendimientos no dependen de la alta concentración de nutrientes, sino de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de

gran cantidad de materia orgánica lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean más solubles, tal sistema puede, producir buenos rendimientos durante largos períodos con poca o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (Bunch, 2003).

En este contexto, se ve la necesidad de buscar alternativas que ayuden a disminuir el uso de fertilizantes químicos en la producción y en consecuencia disminuir el daño ambiental que estos causan, recuperar la fertilidad de los suelos y disminuir los costos de producción, por lo que este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto que produce la tierra de diatomita como fertilizante en las propiedades físicas y químicas del suelo, comparada con un abono líquido, para determinar si su empleo como fuente de nutrición permite disminuir el uso de fertilizantes químicos y en consecuencia el impacto al ambiente que éstos causan.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. Generalidades

La diatomita es una roca sedimentaria compuesta de restos fosilizados de algas unicelulares conocida como diatomea (USGS, 2008) producida por la deposición de esqueletos. Posee una estructura única de baja densidad, alta capacidad de absorción, alta superficie específica y relativamente baja abrasión (Ramos, 1996). La extracción comercial de diatomitas comenzó hace aproximadamente 200 años y han sido utilizadas para diversos productos debido a su alto contenido de silicio y textura fina. Las diatomitas tienen una gran variedad de usos modernos, sin embargo su importancia para la reconstrucción de los cambios ambientales no está muy estudiada (Flower, 2007).

1.2. Origen de la diatomita

Los acúmulos de frústulos silicios de diatomeas que se han ido depositando a lo largo de millones de años, constituyen el material fosilizado conocido como tierra diatomea o diatomita (Jones, 2007). La figura 1 muestra un depósito natural de tierras diatomeas, éstas son un material poroso y ligero formado de sedimentos acumulados de restos fosilizados de algas acuáticas unicelulares (Bacillariophyta), el componente principal de las tierras diatomeas es sílice amorfo (SiO_2) y pequeñas cantidades de minerales como aluminio, óxido de hierro, hidróxido de calcio, magnesio y sodio (Round et al., 1990).



Figura 1. Depósito de diatomita

Fuente: Portal de Mineralogía http://farm3.static.flickr.com/2382/2403764537_418528aa9f.jpg

1.3. Importancia de las diatomitas

Las diatomeas son importantes para el ciclo biogeoquímico del Si y la fijación global de dióxido de carbono (CO₂). Estos organismos unicelulares, toman el ácido silícico disuelto en el agua y lo precipitan en forma de Si para formar sus frústulas o paredes celulares (Martin-Jézéquel, et al., 2000).

Las diatomeas son organismos fotosintéticos que participan en la producción primaria de la cadena alimenticia y están tomando importancia en diferentes áreas como biofertilizantes, biorremediación, biocombustibles, biotecnología y en biomedicina como complemento alimenticio para humanos (Borowitzka, 1995; Anderson, 2005, Jong-Yuh, 2005; Masojidek, 2005).

1.4. Usos de polvos inertes en el sector agrícola

El estudio de los polvos inertes se ha realizado por más de dos décadas, resultando en registros y uso comercial de varias formulaciones de estos materiales (Vincent et al., 2003). Existen muchas clases de polvos inertes: limo, sal común, arena, caolín, ceniza de cáscara de arroz, ceniza de madera, arcilla, tierra de diatomea (90% SiO₂), materiales sintéticos, silicatos precipitados (98% SiO₂) y silica aerogel, entre otros (Golob, 1997).

La tierra de diatomea es clasificada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos como segura (Vincent et al., 2003). Debido a su baja toxicidad para los mamíferos, se utilizan para proteger granos almacenados de un gran número de plagas del Orden Coleóptera.

Un aspecto importante de destacar, es que la tierra de diatomeas además de su acción insecticida aporta nutrientes; esto ocurre porque su composición es óptima en micro minerales como; aluminio, antimonio, bario, berilio, calcio, cobalto, cobre, estaño, estroncio, fósforo, hierro, manganeso, magnesio, mercurio, níquel, plata, potasio, sílice, sodio, talio, zinc, entre otros , elementos que tienen incidencia en el metabolismo de los tejidos; por lo general estas sustancias son escasas en terrenos poco fértiles (Golob, 1997; Fields et al., 2001).

1.5. Diatomita como fertilizante

El biosílice de las diatomeas es un amortiguador efectivo del pH que facilita la conversión enzimática de bicarbonato a CO₂, etapa importante en la adquisición de carbono inorgánico por las plantas (Milligan y Morel, 2002).

La tierra de diatomeas aporta a la planta 38 oligoelementos o trazas de minerales que son vitales para la interacción metabólica de sus tejidos, es un fertilizante eficaz y seguro ya que no es tóxico ni fitotóxico. Se recomiendan aplicaciones directas al suelo, espolvoreando entre 6 a 8 kilos por hectárea, o diluido en agua a razón de 1 a 2 kg por cada 100 a 200 litros de agua (Agropulli).

Las tierras de diatomeas son recomendadas por las casas comerciales para:

1. Mejorar las condiciones físicas del suelo.
2. Neutralizar los elementos tóxicos y el exceso de acidez del suelo.
3. Mejorar la retención del agua en los tejidos vegetales y el suelo (Romero-Aranda, et al., 2006).
4. Reducción del daño oxidativo a las membranas ocasionado por exceso de iones (Gunes, et al., 2007).
5. Incidencia positiva en la disponibilidad de nutrientes.
6. Mitigación de los efectos de la toxicidad de los diferentes elementos químicos.
7. Disminución de los efectos inhibitorios del Al sobre el alargamiento de la raíz.
8. Inducción a la formación de aluminosilicatos de baja solubilidad en el apoplasto del ápice de la raíz, reduciendo la concentración de iones Al³⁺ en el medio (Epstein, 1999; Wang, et al., 2004).
9. Protección de cultivos contra factores ambientales bióticos y abióticos (Epstein, 1999).
10. Acumulación de compuestos fenólicos lignina y fitoalexinas.
11. Aumento en la síntesis de peroxidasa, polifenoloxidasa, glucanasas y quitinasas.
12. Incremento en la producción de quinonas y especies reactivas de O₂ que tienen propiedades antibióticas.
13. Favorecimiento de la mayor lignificación de los tejidos.

Ventajas de tipo económico

- a. Bajo costo
- b. No requiere de equipos ni personal especializado para su aplicación
- c. Fácil y rápida aplicación
- d. Alta compatibilidad con otros insumos o productos
- e. Se puede incorporar al riego mezclado con otros insumos
- f. Bajas dosis requeridas
- g. Mantiene sus condiciones físicas en el tiempo

El componente principal de las tierras diatomeas es sílice amorfo (SiO_2) y pequeñas cantidades de minerales (Cuadro 1) como aluminio, óxido de hierro, hidróxido de calcio, magnesio y sodio (Round et al., 1990). El alto contenido de sílice favorece su uso en las plantas, ya que este elemento beneficia los cultivos, además los micronutrientes facilitan la capacidad de intercambio catiónico y la absorción de nutrientes por la planta. Los macronutrientes presentes en el suelo (nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros) son importantes para el desarrollo y la producción de las plantas; no obstante, su acción es limitada cuando la disponibilidad de micronutrientes en el suelo no es adecuada. La tierra diatomea, en mezcla con fertilizantes químicos u orgánicos, suple los micronutrientes que la planta requiere para su desarrollo. Además, por ser un producto natural, ayuda a conservar la salud del suelo (Baglione, 2011).

Cuadro 1. Composición típica de la tierra diatomea.

Elemento	Porcentaje	Elemento	Porcentaje
Potasio	0.067	Zinc	0.004
Calcio	0.12	Níquel	0.0005
Magnesio	0.019	Al_2O_3	8.75
Fosforo	0.02	SiO_2	90.07
Azufre	0.042	K_2O	0.08
Cobre	0.0019	CaO	0.168
Hierro	0.5	MgO	0.032
Sodio	0.067	P_2O_5	0.05

Fuente: Luis Baglione. Director Agrofíx, empresa del grupo Eztrade S.A.

1.6. Panorámica del Suelo como tema de estudio ambiental

Los problemas ambientales globales atañen tanto a la hidrosfera con fenómenos como la carencia de sanidad, (WHO, 2006), la atmosfera con el cambio climático, (IPCC, 2007), la litosfera con problemas como la erosión y la desertización, como a la biosfera con la actual extinción masiva de especies (MEA, 2005). La conjunción de estos problemas ha llevado a un cambio ambiental global (IGBP, 2007) provocado por la acción generalizada del hombre en el ambiente, al grado que esta era ha sido llamada la Antropocena (Crutzen y Stoermer, 2000). Como efecto en retroalimentación, los cambios ambientales están afectando la salud humana (WHO, 2006).

El suelo es un recurso natural localizado en la superficie de la tierra, integrado por una gama de elementos físicos, químicos y biológicos que determinan sus características y su potencial empleo en la satisfacción de las necesidades del hombre, actúa como amortiguador en el paso de sustancias hacia áreas subterráneas (Reyes, 2003). Se define al suelo como “la capa más superficial de la superficie terrestre, de donde los animales y el hombre obtienen sus alimentos y las plantas sus nutrimentos” (Quid, 1983). Esta definición se complementa con lo aportado por Giller y colaboradores (1997), quienes consideran que el suelo es el hábitat de las raíces de las plantas y de una colección diversa de organismos – algas, bacterias, hongos, protozoarios e invertebrados– que participan en la conservación y productividad de los agroecosistemas, así como en la conservación de la agrobiodiversidad.

El suelo está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos. Es la región donde se sustenta la vida vegetal, uno de los sitios más dinámicos en interacciones biológicas en la naturaleza, en el cual se realizan la mayor parte de reacciones bioquímicas involucradas en la descomposición de materia orgánica, intemperización de las rocas y la nutrición de los cultivos agrícolas (Alexander, 1995).

En la segunda mitad del siglo XX ocurrieron cambios drásticos en los aspectos tecnológicos, económicos y demográficos que se reflejan en el uso, aprovechamiento, manejo y consumo de los recursos naturales y del bienestar humano. Entre los aspectos más

destacables que participan en la problemática ambiental se puede mencionar la acumulación de Nitrógeno y su combinación con diferentes tipos de contaminantes lo que ha ocasionado que haya más de 150 regiones en mares y océanos que carecen de oxígeno y que por lo mismo se han declarado como “zonas muertas”, además de muchas otras que se encuentran en peligro similar (ONU, Anuario Global, 2003)

El suelo, considerado como un elemento fundamental para la calidad de vida presenta problemas de degradación (Figura 2), en particular erosión, acidificación, salinización, contaminación y, en consecuencia, la disminución de su fertilidad natural, esta situación afecta directamente a las áreas de recarga de acuíferos, zonas de conservación de biodiversidad, agropecuarias y de vivienda. El deterioro del recurso suelo, también provoca el abandono de las tierras agrícolas y/o forestales que, a su vez, genera la disminución de la producción de alimentos y materias primas, pobreza y marginación, principalmente en los lugares de origen; así como desempleo, subempleo, surgimiento de cinturones de miseria y otros problemas tanto económicos como sociales, en las zonas urbanas hacia las que se dirigen los expulsados del campo (ONU, Anuario Global, 2003).



Figura 2. Causas que provocan la contaminación del suelo. Fuente: Semarnat 2002.

1.6.1. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas se derivan de la desintegración de rocas y minerales a través de la intemperización física y química. El conocimiento de estas permite comprender el comportamiento y la dinámica del agua y el aire a través del perfil del suelo, y el impacto de estos en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales de interés para el hombre (Serrato y Landeros, 2001).

1.6.2. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo permiten entender la dinámica de los elementos nutritivos que requieren las plantas para su crecimiento, desarrollo y asimilación por los cultivos, los factores que impiden una buena absorción de dichos elementos y las medidas de corrección, para de esta manera determinar la capacidad de uso y manejo de la fertilidad de las tierras agrícolas (Serrato y Landeros, 2001).

1.6.3. Propiedades biológicas del suelo

El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Alexander, 1994). Las prácticas de manejo intensivo y la contaminación pueden influenciar la biomasa microbiana del suelo, y la actividad microbiana afecta la fertilidad del suelo (Leita, et al., 1999).

Los cambios en el tamaño y la actividad de la biomasa pueden afectar la mineralización de C, el contenido de materia orgánica y el ciclo de N y P, así como su disponibilidad para las plantas dado que la biomasa es una fuente dinámica que contiene reservas considerables de estos elementos (Saffigna, et al., 1989). La biomasa microbiana por sí misma puede ser un indicador importante de la calidad del suelo, y la proporción de carbono microbiano por carbono orgánico del suelo puede alertar con anticipación sobre el mejoramiento o deterioro de la calidad del suelo (Powlson, 1994).

1.6.4. Degradación del recurso suelo

La degradación, es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida, se producen modificaciones en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro. Al degradarse, el suelo pierde capacidad de producción en cantidad y calidad, cada vez hay que añadirle más fertilizantes para producir siempre cosechas inferiores a las que produciría el suelo si no se presentase degradado. La degradación del suelo puede ser química, por varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física, por pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica (ONU, 1987).

Según el estudio más reciente sobre degradación de los suelos en México, en el año 2002, el 44.9% de superficie nacional mostraba algún signo de degradación, siendo la degradación química y la erosión hídrica los procesos más importantes con 23.5%: 17.8% es química (siendo el proceso de degradación más importante en el país) y 5.7% es física. En la degradación química, el tipo dominante es la disminución de la fertilidad del suelo (Figura 3) (SEMARNAT-CP (2003), lo cual repercute gravemente en el rendimiento de los cultivos.



Figura 3. Superficie afectada por degradación química de suelos en México, 2002.

Gráfico tomado de semarnat.gob.mx

La pérdida de la cobertura vegetal ocasiona suelos pobres en materia orgánica, nitrógeno (N) y fósforo (P) (Duran, 1992). La degradación de los agrosistemas es debida entre otras causas al manejo inadecuado de los recursos naturales, al uso intensivo de agroquímicos y a otras prácticas agrícolas inadecuadas; la combinación de esto factores ha contribuido principalmente a una baja productividad agrícola (Díaz, 2002; Salinas, 2002).

1.6.4. Contaminación del suelo por fertilizantes químicos

Las limitaciones nutrimentales de los cultivos se han atendido mediante la generación de dosis de fertilización química: por ejemplo en maíz (*Zea mays* L.) se recomienda aplicar como mínimo 140 kg ha⁻¹ de N y 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Reyes, et al., 1992). Entre los insumos químicos, empleados para intensificar la producción agrícola, que más afectan el funcionamiento de los ecosistemas, se encuentran los factores limitantes como nitrógeno y fósforo (Tilman et al., 2001)

Los nutrientes de los fertilizantes son aplicados al suelo para la captación por las plantas, pero se convierten en contaminantes ambientales por lixiviarse hacia corrientes de agua o agua subterránea (McGechan y Lewis, 2000). En el pasado se puso atención al nitrógeno

como nutriente y contaminante, debido a su alta solubilidad y lixiviación hacia aguas subterráneas (Wu, et al., 1998). Sin embargo recientemente se ha puesto mayor atención a la contaminación potencial del fósforo en aguas superficiales (Sharpley y Beegle, 1999). El fósforo ha sido reconocido como un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, con el uso excesivo de fertilizantes y abonos, el contenido de fosforo en suelos agrícolas ha tenido un incremento drástico resultando en acumulación en suelos y contaminación en cuerpos de agua (Sharpley, et al., 1999).

Algunos estudios han demostrado que la fertilización puede influir en la acumulación y transferencia de metales pesados en el sistema suelo-planta. Algunos metales pesados como Zn, Cu, As, Cd y Cr pueden ser determinados en los fertilizantes y la acumulación en el suelo de dichos metales es resultado de repetidas aplicaciones. En los suelos, el Hg puede ser absorbido por las plantas y entrar a la cadena alimenticia (Smolinska y Cedzyska, 2007).

En los sistemas de Agricultura de Conservación los rendimientos no dependen de la alta concentración de nutrientes, sino de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de gran cantidad de materia orgánica lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean más solubles; además la mayoría de estos nutrientes están cerca de la superficie del suelo, fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. Tal sistema puede, por lo tanto, producir buenos rendimientos durante largos períodos con poca o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (aunque, eventualmente, puede ser necesario agregar nutrientes, en particular fósforo, para lograr sostenibilidad) (Bunch, 2003).

1.7. Importancia de los oligoelementos

Las plantas sintetizan sus alimentos a partir de elementos químicos que toman del aire, agua y suelo. Existen 60 elementos químicos constituyentes de las plantas, de los cuales 16 son esenciales y los podemos dividir como macronutrientes y micronutrientes u oligoelementos. Los oligoelementos son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas o animales pero su disponibilidad es necesaria para que los organismos completen su ciclo vital.

Los oligoelementos desempeñan un papel importante en la fertilidad del suelo. La absorción de estos elementos por las plantas puede ser mayor o menor a la cantidad óptima, lo que puede dar lugar a enfermedades por deficiencia o toxicidad por exceso y en última instancia, en los animales que se alimentan de ellas (Aubert, 1971). Los oligoelementos presentes en los suelos proceden de la materia orgánica, incluyendo residuos de plantas y organismos vivos (biomasa). La disponibilidad va a estar regulada por el pH, que va a modificar su comportamiento en el suelo según su solubilidad, adsorción e inmovilidad (Lucas, et al., 1980).

1.8. El silicio en las plantas

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos, de los cuales solo oxígeno y silicio constituyen cerca del 75% (Cepeda, 2009).

Cuadro 2. Elementos que constituyen la corteza terrestre

Elemento	%	Elemento	%
Oxígeno	46.6	Calcio	3.6
Silicio	27.7	Sodio	2.8
Aluminio	8.1	Potasio	2.6
Hierro	5.0	Magnesio	2.1

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la litosfera (27,7%), solo detrás del O₂ (47,4%). Los compuestos de Si constituyen más del 60% de los compuestos del suelo y su concentración en forma soluble, como ácido silícico, está entre 35 y 40 mg l⁻¹ (Epstein, 1999; Ma, et al., 2004; Fauteux., et al, 2005).

El Si está presente en las plantas en cantidades equivalentes a los macronutrientes como calcio, magnesio y fósforo (Epstein, 1999). En las gramíneas el Si se acumula en cantidades mayores que cualquier otro elemento inorgánico. Se ha demostrado que las estructuras de las plantas que crecen en ausencia de Si frecuentemente son más débiles y su crecimiento, desarrollo, viabilidad y reproducción es anormal, son más susceptibles al estrés abiótico, como toxicidad por metales, fácilmente invadidas por organismos patógenos e insectos

fitófagos. La mayoría de estas respuestas se observan en plantas que crecen en suelos pobres en Si (Epstein, 1999; Aguirre, et al., 2007).

El Si es uno de los constituyentes inorgánicos más abundantes de las plantas superiores, mejora la retención del agua en los tejidos (Romero-Aranda, et al., 2006) y reduce el daño oxidativo a las membranas ocasionado por exceso de iones (Gunes, et al., 2007), lo que refuerza que este elemento sea tomado en consideración en la biología de plantas.

CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. JUSTIFICACIÓN

La agricultura comenzó con el desarrollo de la raza humana cuando el hombre empezó a cultivar sus plantas, durante miles de años se aprovechó la fertilidad natural del suelo para cultivar las especies de interés de cada región, el uso de elementos químicos fertilizantes surgió para cubrir la necesidad de cultivar en terrenos desgastados por el uso y mantener un nivel de producción elevado en un mundo creciente y demandante de alimentos, su uso se incrementó de manera considerable entre 1950 a 1964 (Tisdale y Nelson, 1982), ya que la utilización de una mayor cantidad de fertilizantes permitía mantener un elevado nivel de producción, debido a ello el consumo mundial de fertilizantes se extendió rápidamente.

La problemática generada por el uso de fertilizantes químicos es diversa, ya que si bien contribuyen a incrementar los rendimientos de los cultivos, también representan un problema al ser utilizados de forma excesiva y sin ningún tipo de control que deriva en problemas ambientales importantes. Se han realizado estudios que demuestran que un terreno sometido a continuas aplicaciones de fertilizantes, pierde su capacidad productiva lo que disminuye de manera gradual el índice de cosechas aunque se aumenten las dosis de fertilización. Por otra parte, el uso constante de fertilizantes químicos principalmente de Nitrógeno y Fósforo favorece la acumulación de partículas en el suelo, que son arrastradas o lixiviadas hacia aguas subterráneas o escorrentías que al irse acumulando provocan la eutrofización de lagos y reservorios superficiales por la acumulación de nitratos que actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, provocando la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie, en consecuencia hay un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, así mismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad autodepuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos.

En la actualidad se está dando importancia nuevamente al uso de productos de origen natural en diversos sectores y uno de ellos es la producción agrícola, debido a que se han

generado estudios que demuestran que los productos químicos utilizados en la producción de alimentos dejan residuos peligrosos en los vegetales que dañan la salud humana.

Esta investigación surgió a partir de experiencias empíricas sobre el efecto fertilizante de las diatomitas a lo largo de cinco años. Productores que emplearon bioinsectidas para controlar plagas en sus cultivos observaron que los cultivos que recibían la aplicación crecían más vigorosos, que aquellos a los que no se les aplicó el bioinsecticida. Las diatomitas 289 y 400 P, son empleadas como excipiente en productos biológicos para el control de plagas agrícolas (bioinsecticidas).

La literatura sobre el uso de las diatomitas como fertilizante es escasa, ya que únicamente es manejada por empresas que comercializan algún producto a base de tierras diatomeas y ésta información no cuenta con respaldo científico, de manera que al momento no se tienen bases científicas asentadas sobre el uso como fertilizante de este material mineral.

Por lo anterior en esta investigación se planteó el objetivo de evaluar el efecto que produce la tierra de diatomeas aplicada como fertilizante en el cultivo de maíz en las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento del cultivo, como alternativa al uso de fertilizantes químicos sin los efectos adversos que estos han venido causando al entorno ambiental.

En este trabajo se espera:

1. Proponer una alternativa de fertilización en la producción agrícola.
2. Generar un impacto positivo al ambiente, al evitar los daños que provocan los residuos de los fertilizantes inorgánicos en el suelo.

2.2. HIPÓTESIS

La tierra de diatomeas aplicada al suelo, mejora sus propiedades físicas y químicas, lo que permite disminuir de manera gradual el uso excesivo de fertilizantes químicos y en consecuencia el impacto al suelo causado por éstos.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto que produce la diatomita aplicada como fertilizante en el cultivo de maíz a través de la determinación de los parámetros físicos y químicos del suelo y el rendimiento del cultivo.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar la diatomita con un fertilizante orgánico líquido y su posible efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo sometido al cultivo de maíz.

Determinar si alguno de los tratamientos a base de tierra de diatomita influye de manera significativa en alguna de las propiedades del suelo.

Proponer una alternativa de fertilización amigable con el medio ambiente que permita disminuir los efectos adversos de los fertilizantes químicos.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El presente estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México, a 2 632 msnm. Geográficamente se localiza en las coordenadas que varían al norte 20°17'00'', al sur 18°22'00'' de latitud norte; al este 98°36'00'', 100°37'00'' de longitud oeste (INEGI, 2000).

El clima es frío, con una temperatura media anual de 12.7 grados centígrados. La humedad relativa anual es de 63 %, y el total de horas de sol al año es aproximadamente de 2026. La estación de lluvias transcurre entre los meses de junio a septiembre, antecedida por un lapso de lluvias irregulares durante el mes de mayo. En los últimos días de primavera se alcanzan las temperaturas más altas que en algunas ocasiones superan los 27 °C mientras que las más frías se dan entre diciembre y febrero presentándose heladas fuertes en la zona urbana durante el invierno y en las primeras semanas de primavera. Las heladas son en promedio 80 en la época invernal (INEGI, 2000).

Dentro del sector económico sobresalen la industria y el comercio, en menor proporción la agricultura y la ganadería; se cultiva maíz, jitomate, huertos frutales, hortalizas, entre otros ya sea a cielo abierto o en invernadero (INEGI, 2000).



Figura 4. Zona de estudio

3.2. Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo antes de establecer los tratamientos con el objetivo de conocer el estado nutricional del suelo, al término de la fase experimental se realizó un segundo muestreo para determinar la respuesta del suelo a los tratamientos de fertilización orgánica propuestos en alternativa al uso de fertilizantes químicos. En ambos muestreos se tomaron muestras a profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm (Figura 5 y 6), considerando que a dicha profundidad se encuentra la mayor cantidad de raíces para el caso del cultivo de maíz, esto de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (2002) quienes indican que generalmente se recomienda hacer el muestreo hasta los 20 cm de profundidad considerando el cultivo.



Figura 5. Profundidad de muestreo (40 cm)



Figura 6. Muestreo de suelo a 20 cm de profundidad

En el muestreo inicial se tomaron cinco muestras del área total, de las cuales se obtuvo una muestra compuesta por profundidad, misma que se consideró como testigo para comparar los resultados de laboratorio. En el segundo muestreo se utilizó el método sistemático, el cual consistió en tomar muestras simples de cada una de las repeticiones de los tratamientos y posteriormente obtener una muestra compuesta por tratamiento y profundidad (Serrato y Landeros, 2001).

3.3. Diseño experimental

El cultivo se estableció mediante un diseño de bloques al azar (DBA) (Figura 7). El área experimental empleada fue de 672 m², en la cual se establecieron 30 unidades experimentales de 19.2 m² y una separación de 1 m entre unidades para reducir el efecto entre tratamientos. La parcela útil constó de los dos surcos centrales, en los cuales se tomaron las muestras para las variables evaluadas en el cultivo con una superficie de 9.6 m².



Figura 7. Trazado de las unidades experimentales mediante el DBA

El suelo del área experimental donde se estableció el cultivo es arcilloso del tipo vertisol, muestra un nivel de agrietamiento intenso en condiciones secas (Figura 8) y abundante retención de agua en condiciones de lluvia, por lo que el desarrollo óptimo de los cultivos de temporal está limitado a un equilibrio entre la cantidad de lluvia y la temperatura ambiente.



Figura 8. Agrietamiento del suelo en condiciones secas

3.4. Diseño y descripción de los tratamientos

Se realizaron 6 tratamientos (Cuadro 3) con 5 repeticiones, distribuidos al azar dentro de cada bloque. Cuatro de los cuales incluyeron diatomita y dos, un fertilizante líquido que fungió como testigo.

Cuadro 3. *Tratamientos evaluados*

Tratamientos (T)		
T1	Fertilizante Orgánico Líquido	2 L ha ⁻¹
T2	Diatomita 289	20 kg ha ⁻¹
T3	Diatomita 400 P	18 kg ha ⁻¹
T4	Fertilizante Orgánico Líquido	4 L ha ⁻¹
T5	Diatomita 289	40 kg ha ⁻¹
T6	Diatomita 400 P	36 kg ha ⁻¹

Los tratamientos se diluyeron en agua (15 litros) para facilitar su aplicación, misma que se realizó dirigida al suelo con una aspersora de mochila.

3.4.1. Aplicación de los tratamientos

Se realizaron tres aplicaciones: la primera cuando las plantas presentaron las primeras hojas verdaderas (aproximadamente 10 cm), la segunda a los 50 cm aproximadamente y la tercera en la etapa de llenado de grano. Los tratamientos a base de diatomeas y fertilizante orgánico, se diluyeron en agua suficiente (15 litros) para cubrir la superficie de cada unidad experimental.

3.5. Material experimental

Tierra de diatomeas distribuida por la empresa FyE de México, S.A. de C.V. denominada comercialmente como Celite 289 (Ficha técnica, Anexo 1) y Celite 400-P (Ficha técnica, Anexo 2).

Fertilizante orgánico líquido extraído del composteo de residuos sólidos vegetales y animales.

Semilla de maíz (*Zea mays*, L) variedad HC8 de la empresa Aspros.

3.6. Desarrollo experimental

3.6.1. Establecimiento del cultivo

El cultivo se estableció en el ciclo agrícola primavera verano 2012. La preparación del terreno consistió de una labranza tradicional, en la cual se realizó un barbecho y dos pasos de rastra para eliminar la mayor cantidad de terrones. La deposición de las semillas de maíz se realizó con una sembradora de precisión a 10 cm entre plantas sobre el borde del surco, por lo que no se realizó escarda. Una vez germinada la semilla se formaron las unidades experimentales eliminando las plantas necesarias para este fin, quedando una población de 240 plantas por unidad experimental.

3.6.2. Variables evaluadas

En suelo

Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el laboratorio de suelos del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF), tomando como referencia lo estipulado en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (DOF, 2002).

Las características fisicoquímicas y el método de análisis empleados para fines de esta investigación se enlistan en el cuadro 4:

Cuadro 4. *Características físico químicas y método utilizado para determinar la fertilidad del suelo (DOF, 2002)*

Característica	Método
Densidad aparente	Probeta
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Walkley y Black modificado
pH en agua	Potenciómetro
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Cloruro de bario-trietanolamina
Nitrógeno	Semimicro-Kjeldahl
Fósforo	Bray I
Potasio	Flamómetro
Calcio	Del jabón
Magnesio.	Amarillo titán
Sodio	Flamómetro

En planta

- a) *Altura de planta y de mazorca*: La determinación de la altura de planta consistió en medir la longitud (cm) de diez plantas de maíz seleccionadas al azar con un estadal a partir de la base del suelo hasta la espiga, mientras que la altura de mazorca se tomó de la base del suelo a donde inicia la mazorca.

- b) *Diámetro, longitud y número de hileras de la mazorca*: Se tomaron diez mazorcas al azar de la parcela útil. La variable diámetro se midió utilizando un vernier, se tomó la parte central de cada mazorca y se realizó la medición en centímetros. La longitud se midió con una regla de 30 cm. El número de hileras se obtuvo contando las hileras completas de cada una de las diez mazorcas.

- c) *Peso de grano y peso de olote*: Una vez obtenidos los datos de diámetro, longitud y número de hileras, se desgranaron las mazorcas seleccionadas y se pesaron por separado en una báscula de precisión con capacidad de 3 kg.

- d) *Rendimiento de grano*: Para determinar el rendimiento se mezcló el grano obtenido de las diez mazorcas más el resto del grano de la parcela útil (surcos centrales), se colocó en un vaso de precipitado de un litro y se pesó para obtener el peso hectolitrico del grano, el cual posteriormente se transformó en toneladas por hectárea.

3.7. Análisis estadístico y escala de evaluación

La evaluación de los resultados se realizó en función a las propiedades físico químicas analizadas en las muestras de suelo tomadas antes y después de aplicar los tratamientos, además del rendimiento del cultivo de maíz en kg/ha. Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias en relación a Tukey-Kramer y se complementó con un análisis de correlación y componentes principales, utilizando el paquete estadístico JMP versión 10, 2012.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Los resultados se dividen en enviados y no enviados, debido a que solo se consideró la parte de los resultados obtenidos de los análisis de suelo para el artículo enviado

4.1. Resultados enviados

Resultados parciales de la investigación se enviaron para publicación como artículo científico a la Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Indexada en Latindex, EBSCO, e-revistas, entre otras.

De: Revista de Investigación Agraria y Ambiental (riaa@unad.edu.co)

Enviado: lunes, 03 de junio de 2013 10:40:13 a.m.

Para: LuZy Fabila (lucy_fam@hotmail.com)



Apreciada investigadora

Hemos recibido el manuscrito "EFECTO DE LA TIERRA DE DIATOMEAS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays, L.). ESTUDIO PRELIMINAR", al cual se le ha asignado el código RIAA 140 para futura correspondencia. Con el fin de continuar con el proceso editorial de RIAA, de manera comedida le pedimos el envío de los formatos de:

Cesión de derechos
Postulación de artículos
Hoja de vida autores

los cuales puede descargar en la página web de RIAA www.unad.edu.co/riaa/

Cordial saludo,

Reinaldo Giraldo Díaz
Director-Editor RIAA

4.1.1. Artículo

EFFECTO DE LA TIERRA DE DIATOMEAS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*, L.). ESTUDIO PRELIMINAR

Effect of the diatomaceous earth in soil chemical properties in the crop corn

(*Zea mays* L.). Preliminary study

Lucia Fabila Martínez¹, Salvador Adame Martínez², Rodolfo Serrato Cuevas³

¹Ingeniera Agrónoma Fitotecnista, maestrante en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, México. e-mail:

lucy_fam@hotmail.com

²Profesor investigador FAPUR-UAEM, México. e-mail adame_ms@yahoo.com

³Profesor FCA-UAEM, México. e-mail seccum@yahoo.com.mx

Autor responsable: Dr. Salvador Adame Martínez, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México. Teléfono 01 (722) 219-46-13, 212-19-38 y 212-92-46 ext. 133. Dirección para correspondencia: Calle Mariano Matamoros casi esquina Paseo Tolloccan s/n, Colonia Universidad. Toluca, Estado de México. C.P. 50130. e-mail: adame_ms@yahoo.com

EFECTO DE LA TIERRA DE DIATOMEAS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*, L.). ESTUDIO PRELIMINAR

Effect of the diatomaceous earth in soil chemical properties in the crop corn (*Zea mays* L.). Preliminary study

RESUMEN

Es bien sabido que en la actualidad la producción de alimentos orgánicos está retomando importancia, debido principalmente a que la utilización excesiva de fertilizantes y plaguicidas químicos ha ocasionado un desequilibrio tanto al ambiente como a la salud humana por la persistencia de muchos de sus componentes. Este trabajo se desarrolló a partir de la necesidad de brindar productos y servicios dirigidos al campo que cubran las necesidades nutrimentales de las plantas sin que esto implique un daño ambiental.

Se realizó un muestreo del área experimental antes de establecer el cultivo y al término del mismo. Se evaluaron dos tierras comerciales de diatomeas identificadas como 289 y 400 P comercializadas por Celite Internacional, a dos concentraciones 20 kg ha⁻¹ y 40 kg ha⁻¹ y 18 kg ha⁻¹ y 36 kg ha⁻¹ respectivamente, además de un fertilizante orgánico líquido (FOL) a dosis de 2 L ha⁻¹ y 4 L ha⁻¹, como testigo se consideró la muestra de suelo tomada antes de la aplicación de tratamientos. El diseño experimental utilizado en campo para la aplicación de los tratamientos fue un bloques completos al azar (DBA) con 5 repeticiones. La planta indicadora fue maíz híbrido HC8. Las variables evaluadas en suelo mediante análisis de laboratorio fueron: propiedades físicas de textura y densidad aparente (DA); y químicas de pH, carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio cationico (CIC), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). Los resultados se analizaron bajo un ANOVA y prueba de Tukey para la comparación de medias por tratamiento, utilizando el paquete estadístico JMP versión 10, 2012. Bajo un nivel de significancia estadística del 5%, los resultados indican diferencias en las propiedades de CO, MO, CE, N, K y Na.

Palabras Clave: *Diatomeas, fertilizante, Propiedades del suelo, Fertilizante orgánico.*

SUMMARY

It is well known that at present organic food production is resuming importance, mainly due to excessive use of chemical fertilizers and pesticides has led to an imbalance both the environment and human health by the persistence of many components. This work was developed from the need to provide products and services for the field to meet the nutritional needs of plants without involving environmental damage.

A sampling of the experimental area before establishing the crop and the end of it. We assessed two commercial diatomaceous earth identified as 289 and 400 P marketed by International Celite, at two concentrations 20 kg ha⁻¹ and 40 kg ha⁻¹ and 18 kg ha⁻¹ and 36 kg ha⁻¹ respectively, and a fertilizer organic liquid (FOL) at doses of 2 L ha⁻¹ and 4 L/ha was considered as control soil sample taken before the application of treatments. The experimental design used in the field for the application of the treatments was randomized complete block (DBA) with 5 repetitions. The test plant was HC8 hybrid corn. The variables evaluated in soil by laboratory analysis were: physical properties of texture and bulk density (BD), and chemical pH, organic carbon (OC), organic matter (OM), electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CIC), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na). The results were analyzed in an ANOVA and Tukey test for comparison of means for treatment, using the JMP statistical package version 10, 2012. Under a level of significance of 5%, results indicate differences in the properties of CO, MO, CE, N, K and Na.

Index words: Diatom, Fertilizer, Soils properties, Organic fertilizer.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos orgánicos ha retomado importancia en los últimos años, debido a los daños que causa el uso excesivo de productos químicos en la producción agrícola tanto a la salud humana como al ambiente en el componente suelo, ya que según la SEMARNAT (2002), el 44.9% de superficie en México presenta algún signo de degradación, siendo la degradación química del tipo disminución de la fertilidad del suelo, uno de los procesos más importantes con el 23.5%. Las principales causas asociadas con la degradación son las actividades agrícolas, pecuarias y la deforestación. De acuerdo con Reyes (2003) la degradación actual del suelo puede observarse como agotamiento de nutrientes, erosión, pérdida de bioactividad, salinización y contaminación, lo cual repercute en el rendimiento de los cultivos.

Por su parte, Reyes y colaboradores (1992), mencionan que las limitaciones nutrimentales de los cultivos se han atendido mediante la generación de dosis de fertilización química. Por ejemplo en maíz (*Zea mays L.*) se recomienda aplicar como mínimo 140 kg/ha de N y 40 kg/ha de P₂O₅. Sin embargo, algunos países están encontrando dificultades para aumentar sus rendimientos a pesar de las dosis elevadas de fertilizantes; y otros, con altos niveles de uso de fertilizantes, enfrentan problemas ambientales derivados del uso intensivo e indiscriminado (Alexandratos, 1995), ya que los cultivos solo aprovechan alrededor de 50% del N y P aplicado como fertilizante (Tilman, *et al*, 2001).

Por ello diversos estudios han abordado el tema del uso de productos de origen orgánico, biológico y mineral como alternativa al uso de productos de síntesis química para satisfacer las necesidades de nutrición de los cultivos, así como para combatir las diversas plagas y enfermedades que les afectan. Entre los temas de estudio más populares destacan el uso de abonos a base de lombricomposta, gallinaza y estiércol, sin embargo, un estudio realizado por Martínez y colaboradores (2001) sugiere utilizar dosis de 20 a 30 t ha⁻¹ de abono orgánico de composta y de 4 a 8 t ha⁻¹ de gallinaza para obtener resultados favorables, lo que resulta impráctico para pequeños productores por el costo que implica y debido a que la agricultura no es su principal fuente de sostén.

Por otra parte se encuentra el uso de materiales inertes como dolomita, zeolita y diatomita. Lo que respecta a las diatomitas, estas han sido ampliamente estudiadas, lo cual ha permitido diversificar sus usos. Su componente principal es sílice amorfo y pequeñas cantidades de minerales como Al, FeO, Ca(OH)₂, Mg y Na, entre otros (Round, et al, 1990); sin embargo, a pesar de sus propiedades químicas y su alto contenido en micronutrientes esenciales (oligoelementos), su acción como fertilizante en la producción de alimentos no ha sido estudiada.

El presente trabajo se planteó con el objetivo de evaluar el efecto de la tierra de diatomeas como fertilizante en las propiedades físicas y químicas del suelo en el cultivo de maíz y determinar si la aplicación de estas puede reducir el empleo de fertilizantes químicos y en consecuencia la degradación química de nutrientes del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México, a 2632 msnm. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 20° 17' 00'' y 18° 22' 00'' de latitud norte; y 98° 36' 00'' y 100° 37' 00'' de longitud oeste. El clima predominante es semifrío, con una temperatura media anual de 12.7 °C. La humedad relativa anual es de 63% (INEGI, 2005).

Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo de suelo 30 días antes de la siembra con el objetivo de conocer las condiciones de fertilidad del suelo, al término de la fase experimental se realizó un segundo muestreo para determinar la respuesta del suelo al aplicar la serie de tratamientos de fertilización orgánica propuestos en alternativa al uso de fertilizantes químicos. En ambos muestreos se tomaron muestras a profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm, de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (2002) quienes indican que generalmente se recomienda hacer el muestreo a 20 cm de profundidad, pero esto depende del cultivo. En el muestreo inicial se obtuvo una muestra compuesta. En el segundo muestreo se utilizó el método sistemático, el cual consistió en tomar muestras por tratamiento (Serrato y Landeros, 2001).

Conducción del experimento en campo y material experimental

El experimento se estableció en el ciclo agrícola primavera verano 2012, el manejo del cultivo fue de acuerdo al paquete tecnológico usado por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (FCA-UAEM). El material experimental fue tierra de diatomeas 289 y 400 P consideradas como fertilizantes agrícolas potenciales, a dos concentraciones cada una (20 kg ha^{-1} y 40 kg ha^{-1} y 18 kg ha^{-1} y 36 kg ha^{-1} respectivamente), además de un fertilizante orgánico líquido (FOL) a dosis de 2 L ha^{-1} y 4 L ha^{-1} , como testigo se consideró la muestra de suelo tomada antes de la aplicación de tratamientos, el cultivo indicador fue maíz híbrido HC8 (*Zea mays L*). Los tratamientos se dividieron en tres aplicaciones, al presentar las primeras hojas verdaderas, antes de la primera escarda (aproximadamente 30 cm de altura de la planta) y al llenado de grano.

Análisis físicos y químicos de las muestras

Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el laboratorio de suelos del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF-UAEM), tomando como referencia lo estipulado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (DOF, 2002). Las variables evaluadas fueron características físicas del suelo como: densidad aparente (DA) y textura. Y químicas: pH, carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). Los métodos para la determinación de los parámetros fueron los especificados en la NOM-021.

Diseño estadístico y evaluación de resultados

El estudio se evaluó con un diseño de bloques al azar (DBA). Se establecieron 30 unidades experimentales, cada una de 4 surcos de 6 m de largo por 0.8 m de ancho con una separación de 1 m entre unidades. La parcela útil constó de los dos surcos centrales. El análisis de datos se realizó en función a las características físico químicas del suelo entre los tratamientos y el testigo. Se realizó además un análisis de varianza y prueba de medias por tratamiento, en relación a Tukey, utilizando el paquete estadístico JMP versión 10, 2012 de SAS Institute.

RESULTADOS

El cuadro 1 hace referencia a los valores de las propiedades físicas del suelo antes de establecer los tratamientos y el cuadro 2 refiere los valores obtenidos en laboratorio después de establecer los tratamientos de fertilización, las características físicas de ambas tablas son similares, esto posiblemente es debido a que la cantidad de tierra de diatomeas aplicadas fue relativamente baja como para influir en las propiedades físicas del suelo.

Cuadro 1. *Análisis físicos del área experimental antes de establecer los tratamientos*

Profundidad de muestreo	% A	% R	% L	Textura	DA g/cm ³
0-20 cm	47.7	23.6	28.7	Franco	1.11
20-40 cm	37	44	19	Arcilla	1.16

A= Arena, R= Arcilla, L= Limo, DA= Densidad Aparente

Tabla 2. *Análisis físicos después de aplicar los tratamientos*

Tratamiento	Arena%	Arcilla %	Limo %	Textura	DA gr/cm ³
T1A	50.8	21.6	27.6	Fra	1.04
T1B	52.4	20	27.6	Fra	1.07
T2A	48.4	23.6	28	Fra	1.04
T2B	40.8	25.6	33.6	F	1.14
T3A	60.8	23.6	15.6	Fra	1.03
T3B	46.8	23.6	29.6	F	1.05
T4A	50.8	21.6	27.6	Fra	1.00
T4B	46.4	25.6	28	Fra	1.01
T5A	48.4	21.6	30	F	1.05
T5B	46.4	21.6	32	F	1.16
T6A	44.4	27.6	28	Fr	1.06
T6B	50.4	25.6	24	Fra	1.02

T = Tratamientos de fertilización (1= FOL (2 L) 2=Diatomea 289 (20 kg) 3=Diatomea 400 P (18 kg)

4=FOL (4 L) 5=Diatomea 289 (40 kg) 6=Diatomea 400 P (36 kg))

A=profundidad de muestreo 0-20 cm. B = profundidad de muestreo de 20-40 cm

La tabla 3 muestra una panorámica general de las características químicas del suelo del área experimental antes de la aplicación de los tratamientos, y en la tabla 4 se indican los resultados en cuanto a propiedades químicas una vez aplicados los diferentes tratamientos.

Tabla 3. Resultados de las propiedades químicas antes de establecer los tratamientos

Profundidad de muestreo	pH	CO%	MO%	CIC Cmol/100gss	CE Ms	N%	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca mg kg ⁻¹	Mg mg kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹
0-20 cm	5.62	1.7	2.96	21.22	0.21	0.02	49.57	8.42	3.68	23.6	11.92
20-40 cm	6.23	1.1	1.88	21.78	0.21	0.02	31.91	5.96	0.88	63.2	17.74

Tabla 4. Características químicas del suelo después de aplicar los tratamientos.

T	pH	CO %	MO %	CIC Cmol/ 100gs	CE mS	N%	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca mg kg ⁻¹	Mg mg kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹
T1A	6.02	4.68	8.07	24.3	0.11	0.17	76.08	13.7	11.2	42.5	36.6
T1B	6.16	5.66	9.75	16.3	0.18	0.16	51.20	20.1	21.5	37.5	34.9
T2A	6.28	1.17	2.02	22.7	0.17	0.17	66.99	29.7	16.5	42.0	45.0
T2B	6.08	2.73	4.71	18.2	0.14	0.16	41.87	28.0	21.8	44.5	47.5
T3A	6.17	3.90	6.72	18.9	0.13	0.15	97.61	20.4	30.2	29.5	41.4
T3B	6.17	5.66	9.75	23.2	0.17	0.17	89.71	22.7	11.9	42.5	44.7
T4A	6.43	2.73	4.71	17.7	0.13	0.18	83.01	16.3	18.4	47.0	46.1
T4B	6.72	1.76	3.03	19.8	0.14	0.16	88.28	21.3	15.4	39.5	41.9
T5A	6.72	5.07	8.74	23.4	0.26	0.16	82.78	17.8	16.4	30.0	43.0
T5B	6.56	3.71	6.39	22.0	0.28	0.16	57.66	19.2	13.9	17.5	68.7
T6A	6.84	4.68	8.07	23.4	0.14	0.16	74.16	13.4	17.3	26.5	54.5
T6B	6.57	4.88	8.40	24.3	0.16	0.17	14.35	11.7	14.4	39.5	43.6

T = Tratamientos de fertilización (1=FOL (2 L) 2=Diatomea 289 (20 kg) 3=Diatomea 400 P (18 kg) 4=FOL (4 L) 5=Diatomea 289 (40 kg) 6=Diatomea 400 P (36 kg)) A=profundidad de muestreo 0-20 cm. B=profundidad de muestreo de 20-40 cm.

Mediante el análisis de varianza y prueba de medias en relación a Tukey a un nivel $\alpha = 0.05\%$, se encontró significancia para las características químicas de CO, MO, CE, N, K y Na.

De acuerdo a las figuras 1 y 2 correspondientes a CO y MO respectivamente y el agrupamiento de medias, se observa que existen diferencias entre tratamientos para estas características químicas del suelo.

Carbono orgánico

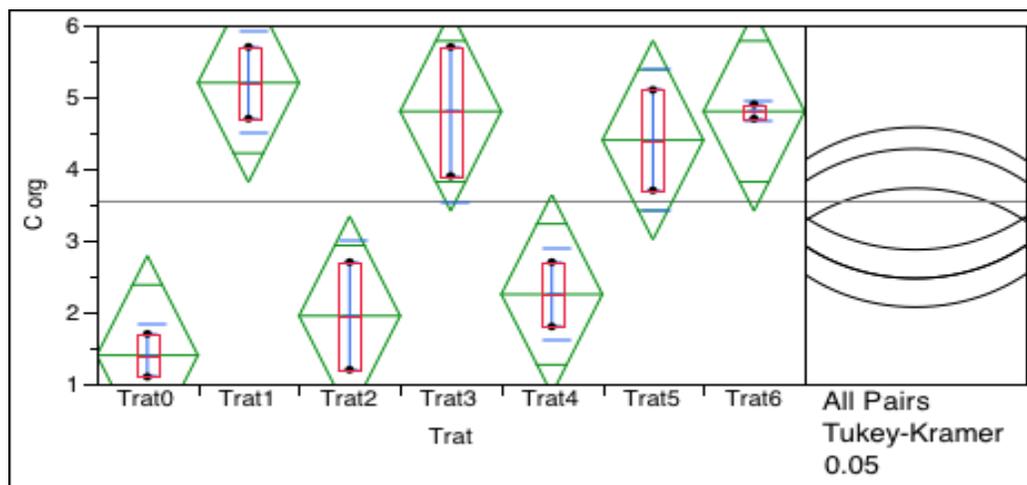


Figura 1. Carbono orgánico analizado por tratamiento

Tabla 5. Análisis de Varianza para CO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	Prob> F
Trat	6	30.884286	5.14738	7.4600	0.0090*
Error	7	4.830000	0.69000		
C. Total	13	35.714286			

Tabla 6. Agrupamiento de medias para CO

Nivel	Media
Trat1 A	5.200000
Trat6 A	4.800000
Trat3 A	4.800000
Trat5 A B	4.400000
Trat4 A B	2.250000
Trat2 A B	1.950000
Trat0 B	1.400000

Materia orgánica

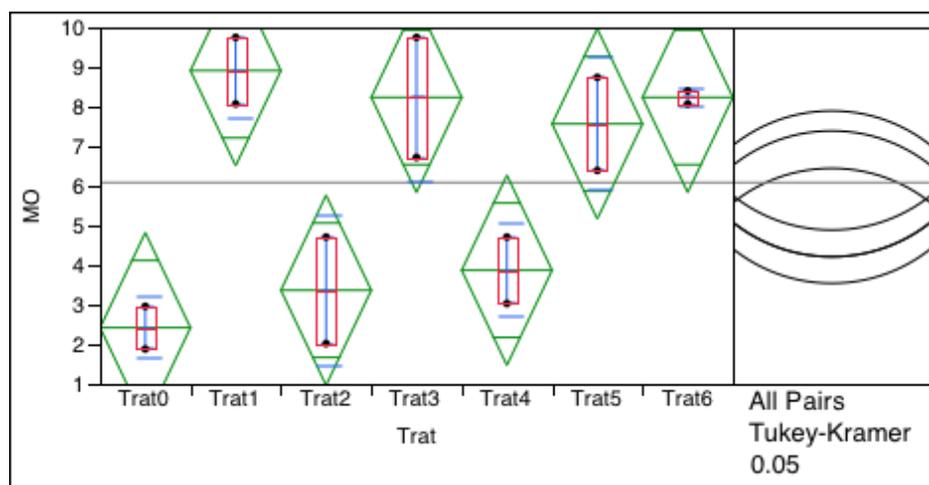


Figura 2. Análisis de Materia orgánica

Tabla 7. Análisis de Varianza para MO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	Prob> F
Trat	6	90.30574	15.0510	7.3013	0.0096*
Error	7	14.42980	2.0614		
C. Total	13	104.73554			

Tabla 8. Agrupamiento de medias para MO

Nivel	Media	
Trat1	A	8.910000
Trat3	A	8.235000
Trat6	A	8.235000
Trat5	A B	7.565000
Trat4	A B	3.870000
Trat2	A B	3.365000
Trat0	B	2.420000

Conductividad eléctrica

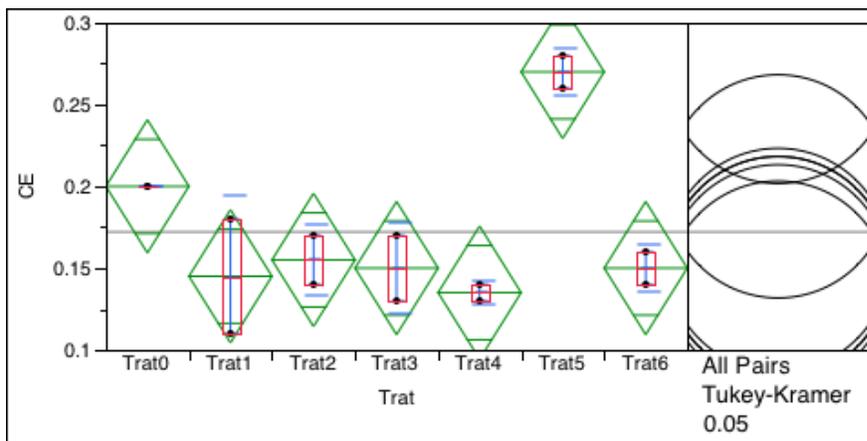


Figura 3. Conductividad eléctrica

Tabla 9. Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	Prob> F
Trat	6	0.02748571	0.004581	7.7269	0.0082*
Error	7	0.00415000	0.000593		
C. Total	13	0.03163571			

Tabla 10. Agrupamiento por grupos

Nivel	Media	
Trat5	A	0.27000000
Trat0	A B	0.20000000
Trat2	B	0.15500000
Trat3	B	0.15000000
Trat6	B	0.15000000
Trat1	B	0.14500000
Trat4	B	0.13500000

Nitrógeno: El comportamiento del nitrógeno entre tratamientos es muy similar, su valor varió entre 0.16 y 0.17, la diferencia es notable con el testigo, el cual presentó el valor medio más bajo de 0.02.

Figura 4. Nitrógeno

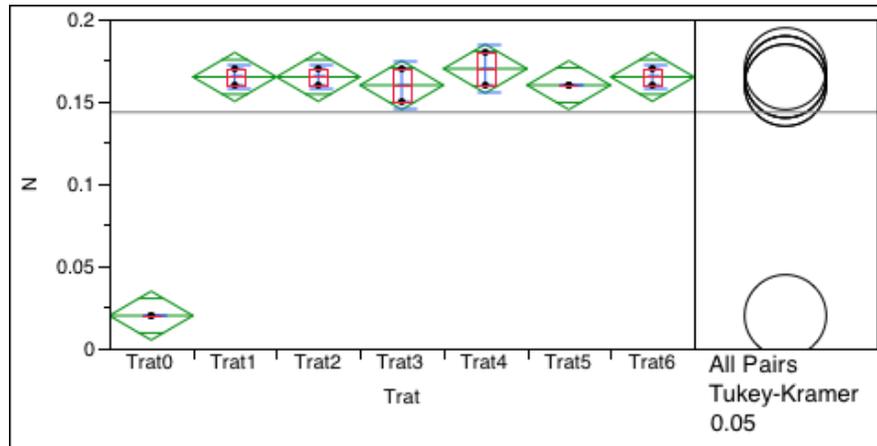


Tabla 11. Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	Prob> F
Trat	6	0.03577143	0.005962	75.8788	<.0001*
Error	7	0.00055000	0.000079		
C. Total	13	0.03632143			

Tabla 12. Agrupamiento de medias N

Nivel		Media
Trat4	A	0.17000000
Trat1	A	0.16500000
Trat2	A	0.16500000
Trat6	A	0.16500000
Trat3	A	0.16000000
Trat5	A	0.16000000
Trat0	B	0.02000000

Potasio: El potasio, mostró ser un elemento nutritivo muy variable en el suelo, ya que las medias se dividieron en varios grupos.

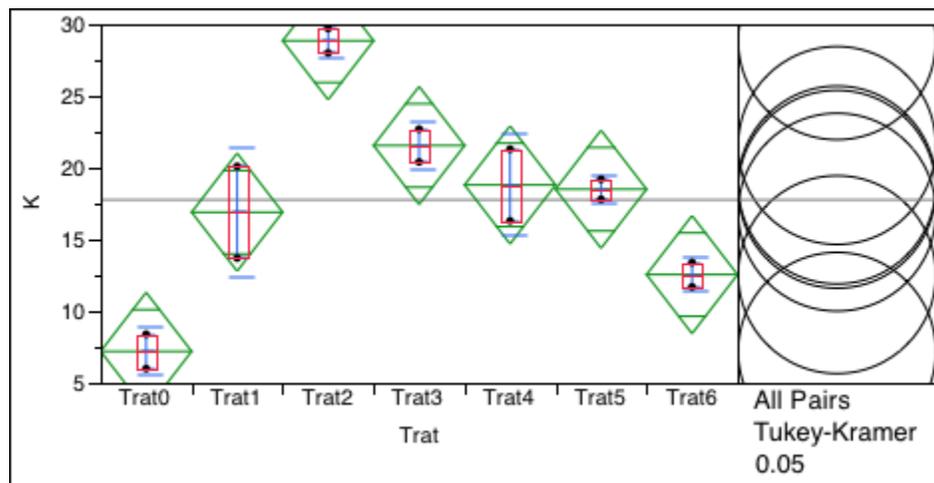


Figura 5. Potasio

Tabla 13. Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrado	Cuadrado Medio	F cal	Prob> F
Trat	6	556.75714	92.7929	15.3286	0.0010*
Error	7	42.37500	6.0536		
C. Total	13	599.13214			

Tabla 14. Relación de medias

Nivel	Media	
Trat2	A	28.850000
Trat3	A B	21.550000
Trat4	B	18.800000
Trat5	B	18.500000
Trat1	B C	16.900000
Trat6	B C	12.550000
Trat0	C	7.200000

Sodio

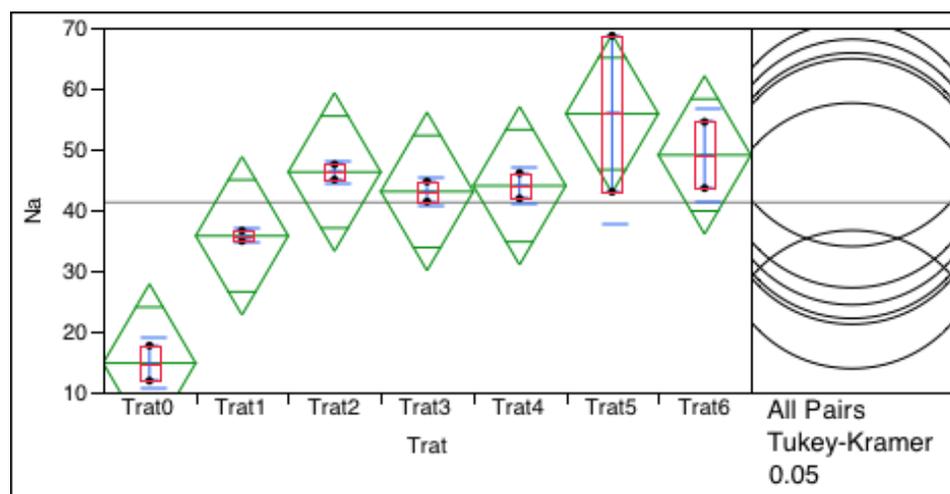


Figura 6. Sodio

Tabla 15. Análisis de Varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F Ratio	Prob> F
Trat	6	2079.3100	346.552	5.7038	0.0188*
Error	7	425.3050	60.758		
C. Total	13	2504.6150			

Tabla 16. Agrupamiento de medias por tratamiento

Nivel	Media
Trat5 A	55.850000
Trat6 A	49.050000
Trat2 A	46.250000
Trat4 A B	44.000000
Trat3 A B	43.050000
Trat1 A B	35.750000
Trat0 B	14.800000

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una propiedad física que difícilmente se modifica es la textura del suelo, ya que dicha propiedad se refiere a separados individuales del suelo, que son la arena, el limo y la arcilla, y estos componentes no se ven influenciados por la aportación de abonos orgánicos y/o fertilizantes. Las diferencias que se presentaron en el análisis de la textura, agronómicamente no repercute en el crecimiento de las plantas. A pesar de lo anterior, la aplicación de abonos auxilia en la agregación de las partículas más gruesas (arena), ya que los suelos presentan mayor porcentaje de arena permitiendo menor lixiviación de nutrimentos a los mantos acuíferos, además ayuda a mejorar la biota del suelo.

La densidad aparente disminuyó ligeramente, lo que representa una ligera mejoría, que se refleja en menor compactación del suelo, mejor movimiento de agua y nutrimentos.

En la tabla 4 se presentan los valores obtenidos en el laboratorio para las muestras por tratamiento, se puede observar que los valores aumentaron con respecto al testigo para CO, MO, N, P, K, Ca y Na en las dos profundidades y en los seis tratamientos. El pH muestra mayores diferencias en la profundidad de 0-20 cm y en lo que respecta a la profundidad de 20-40 cm únicamente se observan cambios para los tratamientos 4, 5 y 6, correspondientes a FOL (4 L), Diatomea 289 (40 kg) y diatomea 400 P (36 kg) respectivamente, lo que nos conduce a inferir que una mayor cantidad de producto aplicado contribuye al aumento del pH del suelo. El Mg mostró un comportamiento similar al pH, ya que únicamente aumentó para la profundidad de 0-20 cm, no así para la de 20-40 cm que muestran valores inferiores al testigo. La CIC muestra diferencias en los tratamientos, sin embargo, tanto el testigo como los tratamientos se encuentran en un rango de valores de 15-25 Cmol/100gss que representa una capacidad de intercambio media. La CE es la única característica que muestra una disminución en los valores con respecto al testigo, lo que indica que hay una ligera disminución en la salinidad del suelo por efecto de los tratamientos.

La comparación de medias de CO y MO indica que los tratamientos 1 (FOL 2 l/ha), 3 (diatomita 400 P/18 kg/ha) y 6 (diatomita 400 P/36 kg/ha), fueron los mejores con valores entre 4.8% y 5.2% para CO y entre 8.23% y 8.91% para MO. Los tratamientos 2 (diatomita

289/20 kg/ha), 4 (FOL/4 l/ha) y 5 (diatomita 289/40 kg/ha) representan al segundo grupo de medias con valores entre 1.95% y 4.40% de CO y entre 3.36% y 7.56% para MO. Finalmente el tratamiento 0 (muestra de suelo antes de aplicar los tratamientos), con el valor medio más bajo tanto para CO (1.4%) como para MO (2,42%). Esta concordancia de grupos resulta evidente ya que la cantidad de MO depende del CO presente en el suelo. Los resultados indican que los tratamientos de FOL (2 L) y diatomea 400 P en la dosis aplicada favorecieron el incremento MO en el suelo.

La CE (Figura 3) presenta un ligero aumento en el tratamiento 5 (diatomita 289/40 kg/ha) con respecto al testigo que tiene un valor de 0.20, el resto de los tratamientos cuentan con los valores medios más bajos fluctuando entre 0.13 a 0.15. Lo que indica que ha disminuido la cantidad de sales del suelo.

El ANOVA para N (Figura 4), indica que los tratamientos estudiados tanto de diatomeas como de fertilizante orgánico líquido contribuyen a aumentar el nitrógeno del suelo. Tomando en cuenta que no se aplicó ninguna fuente extra de este nutriente, estos resultados se atribuyen al efecto de los tratamientos, sin embargo, esto puede ser también un resultado de la interacción suelo planta ambiente. Por lo que se recomienda realizar estudios más a detalle sobre la movilidad de este elemento nutritivo al aplicar productos con las características de los materiales evaluados.

En lo que respecta al K, los mayores niveles se presentaron en el tratamiento 2 (diatomea 289/20 kg ha⁻¹) con una media de 28.8 mg kg⁻¹, seguido del tratamiento 3 (diatomea 400-P/18 kg ha⁻¹), con una diferencia del valor medio de 7.3 mg kg⁻¹, los tratamientos 4 (FOL/4 l/ha) y 5 (diatomita 289/40 kg/ha) mostraron un valor medio muy cercano entre sí (18.5 mg kg⁻¹ y 18.8 mg kg⁻¹), el tratamiento 1 (FOL 2 l/ha), y 6 (diatomita 400 P/36 kg/ha) su valor medio es más variable entre 12.5 mg kg⁻¹ y 16.9 mg kg⁻¹, por último y con el valor más bajo de 7.2 mg kg⁻¹ se cuenta al tratamiento testigo.

El Na presentó un aumento ligero con respecto al testigo, siendo los tratamientos 5 y 6 a dosis de 40 y 36 kg ha⁻¹ para diatomea 289 y 400 P respectivamente los que mostraron un

incremento en los valores, de la misma manera el tratamiento 2 (diatomea 289 a razón de 20 kg ha⁻¹) mostró un valor de 46.2 mg kg⁻¹. Los tratamientos a base de fertilizante orgánico líquido y la diatomea 400 P a concentración de 18 kg ha⁻¹ fueron los que mostraron valores entre 35.7 y 44.0 mg kg⁻¹. Estos resultados pueden ser debidos a que las tierras de diatomeas tienen sodio entre sus componentes principales.

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio referentes a las propiedades químicas del suelo, los productos de tierras diatomeas 289 y 400-P y el fertilizante orgánico líquido a las dosis evaluadas en la fertilización del cultivo de maíz (*Zea mays*, L) contribuyen a aumentar los valores en las características químicas evaluadas para determinar la fertilidad del suelo.

El empleo de tierra de diatomeas 289, diatomea 400 P y fertilizante orgánico líquido en la fertilización del cultivo de maíz (*Zea mays*, L), marco diferencias significativas estadísticamente, principalmente en las características químicas de CO, MO, N, K y Na, con respecto al análisis del suelo experimental antes de establecer los tratamientos.

Debido a que no se encontraron trabajos de carácter científico relacionados al tema de estudio, no se pudo realizar una comparación, por lo que se recomienda realizar evaluaciones posteriores de los materiales empleados en esta investigación para tener un mayor nivel de confianza en los resultados obtenidos.

Los resultados de laboratorio en cuanto a las muestras de suelo permiten inferir que los tratamientos evaluados pueden ser una alternativa para ser utilizados como fertilizante en el cultivo de maíz, ya que mostraron un ligero incremento en los valores de las características químicas analizadas, sin embargo el experimento en campo mostró deficiencias en el elemento nutritivo Nitrógeno, por lo que habría que realizar evaluaciones de estos materiales como complemento a la fertilización tradicional o bien utilizar alguna fuente orgánica de elemento mayores para complementar los requerimientos nutritivos de la planta.

LITERATURA CITADA

Alexandratos, N. 1995. Agricultura mundial hacia el año 2010, estudio de la FAO. Mundiprensa, España.

INEGI (2005) Marco Geoestadístico..INEGI-DGG. Superficies Nacionales y Estatales.

Martínez, Rubin, Enrique, López, Mtz., José Dimas, Díaz, Estrada, Antonio, Valdez, Cepeda, Ricardo D.. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz Terra Latinoamericana [en línea] 2001, 19 (octubre-diciembre): [fecha de consulta: 2 de junio de 2013] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319401>> ISSN 1870-9982

Reyes, M., C.; Girón C., R. y Rosales R., E. (1992). Guía para producir maíz en el Norte de Tamaulipas. Instituto nacional de investigación Forestal y Agropecuaria, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Rio Bravo, Rio Bravo, Tamaulipas, México. (Publicación Especial Núm. 25.) p.31.

Reyes, R. G. (2003). La degradación del suelo: fuente de contaminación ambiental. Principios básicos de contaminación ambiental. Compiladores: Luz María Solís Segura y Jerónimo Amado López Arriaga. UAEM.

Round FE, Crawford RM, Mann DG (1990). The diatoms. Cambridge University Press, Cambridge, P 747.

SEMARNAT-CP (2003). Memoria nacional 2001-2002. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Colegio de Postgraduados. México, D. F.

Serrato, C. R. y Landeros, F. V. (2001). *Instructivo para análisis de suelos propiedades físicas*. Universidad Autónoma del Estado de México, laboratorio de suelos CIEAF, México. pag.7.

Statistical Analysis Systems Institute (SAS institute). (1999) SAS/STAT user's guide. Release 8. SAS, institute Cary, N. C., USA.

Tilman, D., Farione, J., Wolf B., y otros (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental chance. *Science* 292, 281-284.

4.2. Resultados no enviados para las variables en suelo

4.2.1. Correlación para las variables evaluadas en suelo

Además del análisis de varianza y la comparación de medias, se realizó un análisis de correlación y de componentes principales para complementar el análisis de las variables evaluadas en suelo.

Cuadro 5. Correlación para las variables en suelo

	R	L	DA	pH	CO	MO	CIC	CE	N	P	K	Ca	Mg	Na
A	-0.6532*	-0.3581	-0.6258*	-0.0912	0.3948	0.3969	-0.1989	-0.2740	0.4075	0.4399	0.1633	0.6258*	-0.3933	0.1089
R		-0.4731	0.4440	0.0246	-0.4686	-0.4729	0.1504	0.0656	-0.6413*	-0.4093	-0.4690	-0.5267	0.6026*	-0.4194
L			0.1806	0.0759	0.1185	0.1214	0.0460	0.2379	0.3166	-0.0071	0.3883	-0.0787	-0.2855	0.3905
DA				-0.2965	-0.2584	-0.2599	-0.0338	0.5704*	-0.5703*	-0.5051	-0.1666	-0.4092	-0.0301	-0.1122
pH					0.2137	0.2121	0.2245	0.1175	0.4958	0.1734	0.0751	0.2419	-0.1343	0.6403*
CO						1.0000	0.1698	-0.0118	0.5279	0.1579	0.0207	0.3496	-0.3075	0.3572
MO							0.1693	-0.0126	0.5289	0.1597	0.0221	0.3509	-0.3111	0.3576
CIC								0.1994	-0.0153	-0.0843	-0.2909	-0.4782	-0.1085	0.0855
CE									-0.3319	-0.2337	-0.1544	-0.3674	-0.3628	0.0497
N										0.3947	0.6369*	0.6925**	-0.1537	0.7913**
P											0.3553	0.4019	-0.2311	0.2622
K												0.6265*	-0.0639	0.5261
Ca													-0.2655	0.5302
Mg														-0.3860

*= significativo a un nivel de confianza del 5%, **= significativo a un nivel de confianza del 1%

El análisis de correlación para las variables evaluadas en suelo (cuadro 5) muestra una relación positiva perfecta entre CO y MO ($r=1.000$), otras correlaciones positivas se presentaron entre N y K ($r=.6369$), A y Ca ($r=.6258$), N y Ca ($r=.6925$), K y Ca ($r=.6265$), R y Mg ($r=.6026$), pH y Na ($r=.6403$) y N y Na ($r=.7913$). Las correlaciones negativas se presentaron entre A y R ($r=-.6532$), R y N ($r=-.6413$) y A y DA ($r=-.6258$), esta relación resulta evidente, ya que generalmente al incrementar el porcentaje de arena en el suelo la DA tiende a aumentar.

4.2.2. Componentes principales sobre la correlación

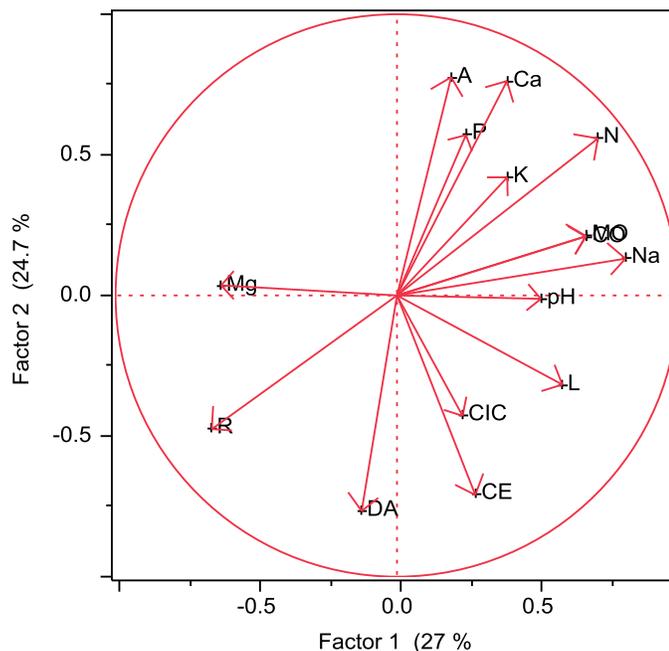


Figura 9. Distribución de los factores en el análisis de componentes principales

Los componentes principales en el factor 1 y 2 suman 51.7% del total (figura 8). Los factores que más influencia presentan son el Na, CO, MO y el N, lo cual se ve reflejado en la disminución de la DA, ya que al aumentar la materia orgánica del suelo, la densidad aparente tiende a disminuir. Se puede observar que el factor que presenta mayor influencia es el Na, lo cual repercute directamente sobre el pH del suelo, llevando a este último a aumentar su valor. Cabe la posibilidad de que la diatomita y el fertilizante orgánico líquido hayan actuado como enmiendas al suelo contribuyendo a aumentar la actividad microbiana y esta actividad a su vez contribuyó a la mineralización de la MO, lo que permitió liberar una mayor cantidad de los nutrientes, por lo que el calcio, fósforo y potasio también se ubicaron dentro de los factores con mayor influencia.

4.3. Resultados en el rendimiento del cultivo

Los resultados obtenidos de las variables estudiadas en planta no se incluyeron en el artículo enviado debido a que los estos no mostraron significancia estadística mediante el análisis de varianza.

4.3.1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en planta

Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables evaluadas en el cultivo

Variable	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Prob F
AP	6931.535	1386.31	2.0832	0.1027 ^{ns}
AM	915.3827	183.077	1.8774	0.1359 ^{ns}
DM	0.06045667	0.012091	1.0851	0.3937 ^{ns}
LM	4.581587	0.91632	0.8892	0.5037 ^{ns}
NH	0.8656667	0.173133	0.8715	0.5147 ^{ns}
PO	1210.156	242.031	0.5388	0.7450 ^{ns}
PG	90155.27	18031.1	0.9026	0.4955 ^{ns}
RG	0.05974667	0.011949	1.1900	0.3435 ^{ns}

AP= Altura de Planta, AM= Altura de Mazorca, DM= Diametro de Mazorca,
LM= Longitud de Mazorca, NH= Numero de Hileras, PO= Peso de Olote,
PG= Peso de Grano, RG= Rendimiento de Grano; ns= no significativo

En el cuadro 6 se describen las variables evaluadas en el cultivo de maíz y los valores obtenidos en F mediante el análisis de varianza, mismos que para ninguna de las variables muestran significancia estadística a un nivel de confianza alpha 0.05. Razón por la cual el estudio se complementó con un análisis del comportamiento de cada una de las variables en los diferentes tratamientos, además de una correlación y un análisis de componentes principales.

4.3.2. Gráficos dosis-respuesta de cada una de las variables evaluadas en el cultivo de maíz.

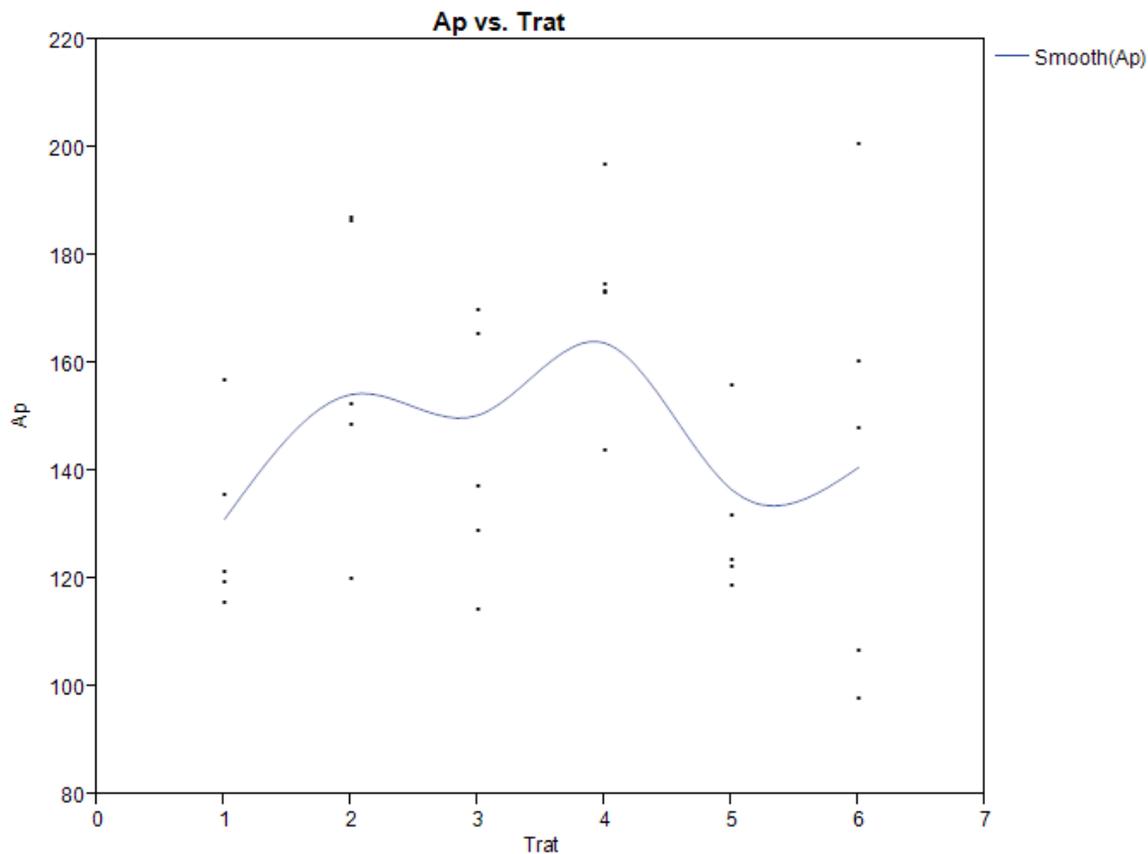


Figura 10. Altura de planta por tratamiento

La figura 10 representa la variabilidad en la altura de planta de cada uno de los tratamientos, los tratamientos 1, 5 y 6 correspondientes a FOL (2 l/ha), diatomita 289 (40 kg/ha) y diatomita 400 P (36 kg/ha) mostraron la menor altura de planta, mientras que el tratamiento 4 correspondiente a FOL (4 l/ha), demostró ser el mejor para esta variable, seguido de los tratamientos 2 y 3 que corresponden a las dosis más bajas de la diatomita 289 (20 kg/ha) y diatomita 400 P (18 kg/ha).

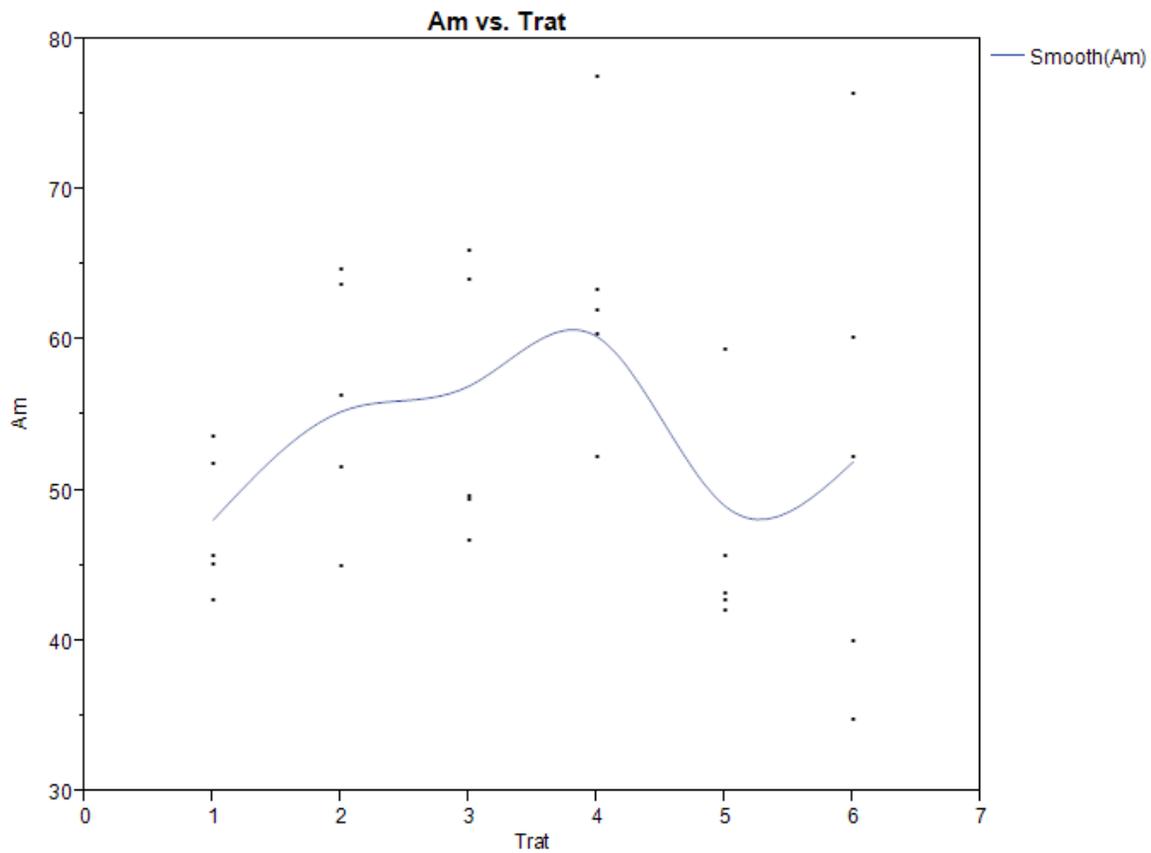


Figura 11. Altura de mazorca

La respuesta de la variable altura de mazorca es muy similar a la variable altura de planta, ya que es el tratamiento 4 el que muestra el mejor comportamiento, y el tratamiento 1 y 5 son los tratamientos en los que se obtuvo la menor altura de mazorca.

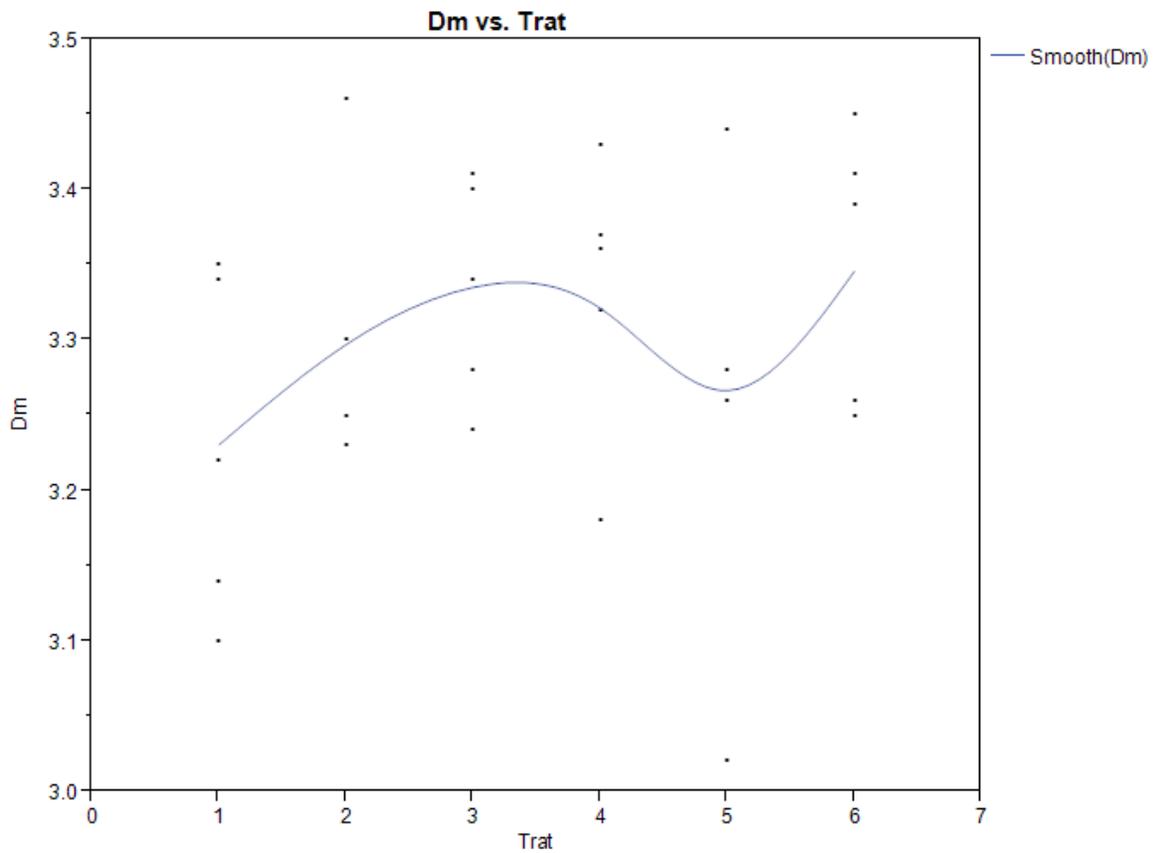


Figura 12. Diámetro de mazorca

El diámetro de mazorca presenta un aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 el de mayor valor, y posteriormente hay un descenso del diámetro de la mazorca en las dosis altas y tratamientos 4 y 5, subiendo moderadamente en el tratamiento 6.

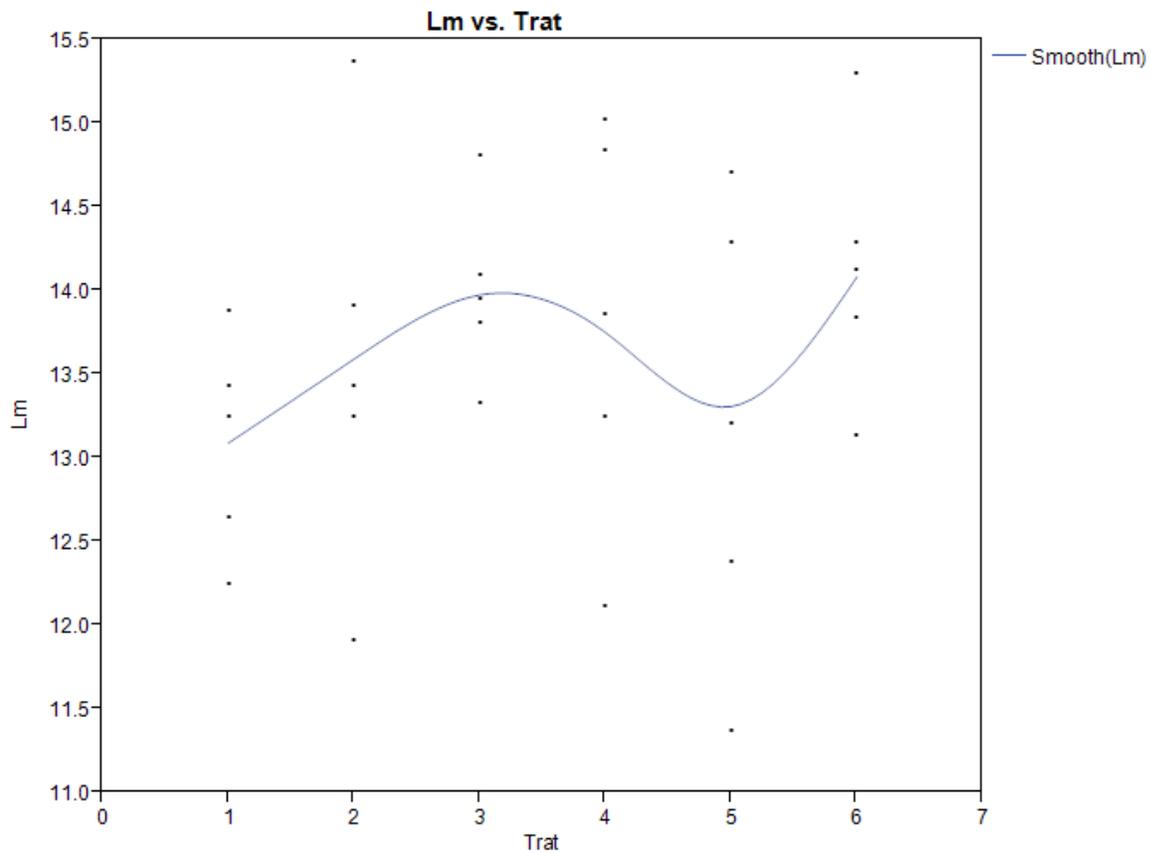


Figura 13. Longitud de mazorca

El comportamiento de la variable longitud de mazorca es idéntico a la variable diámetro de mazorca con aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 y 6 los que muestran el mayor valor, estos tratamientos corresponden a la aplicación de diatomita 400 P.

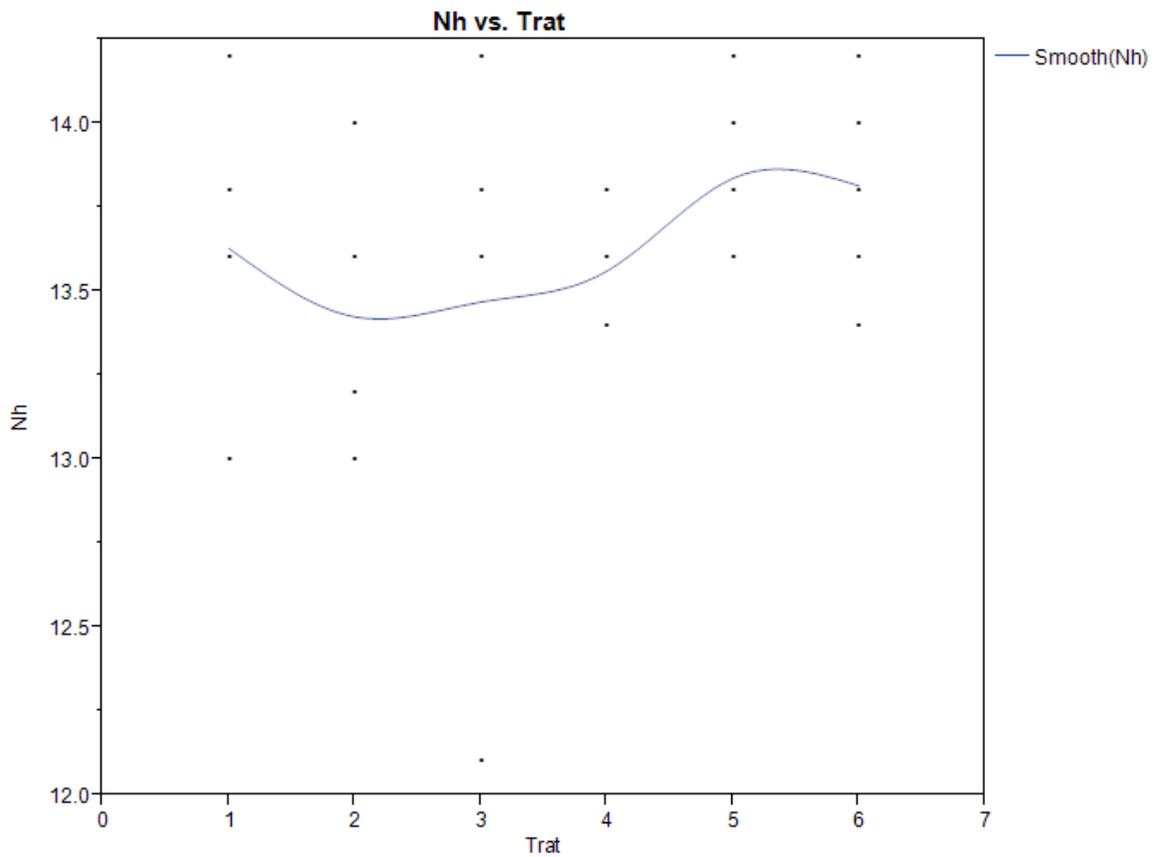


Figura14. Número de hileras

Los valores en la variable número de hileras de la mazorca presentan poca variabilidad ya que todos los tratamientos están entre el rango de 13.0 y 14.0 hileras. Los tratamientos que tuvieron el número de hileras más alto son el 5 y el 6, correspondientes a las dosis altas de diatomitas 289 y 400 P.

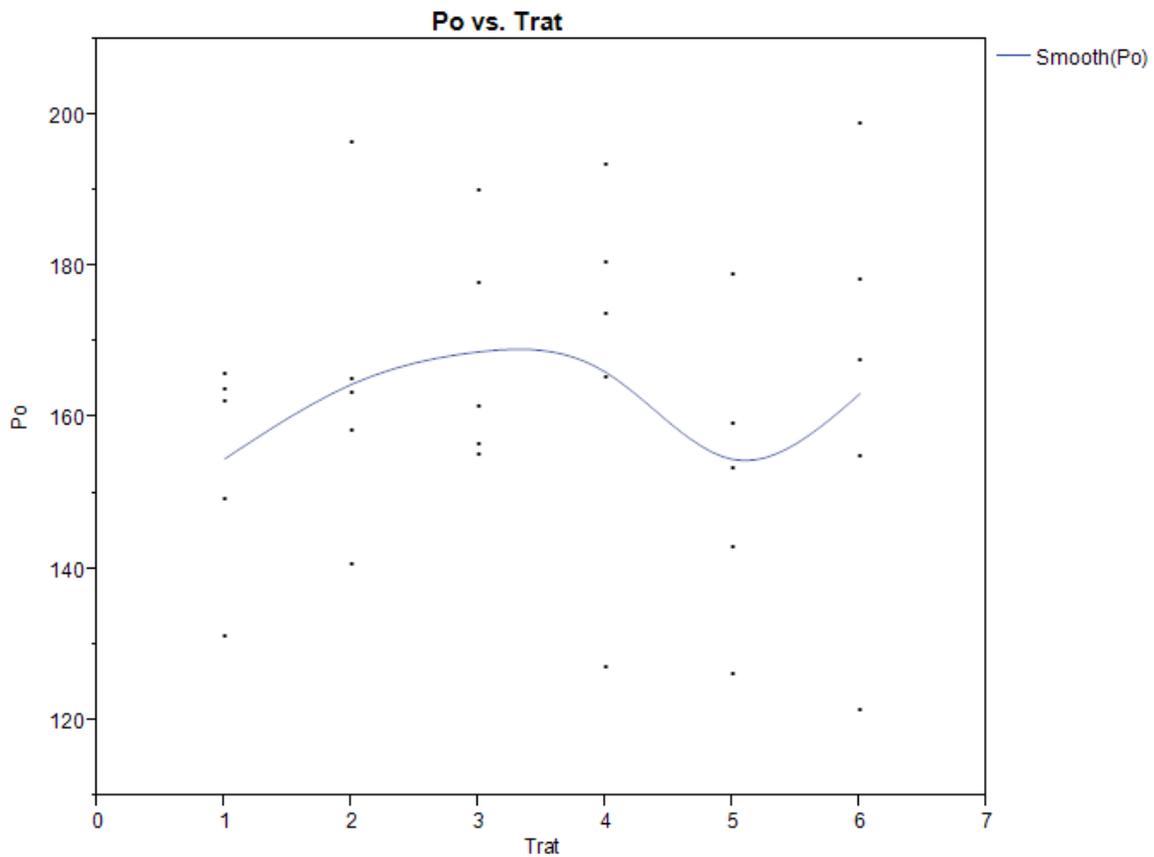


Figura 15. Peso de olote

El comportamiento del peso de olote es similar al del diámetro y longitud de la mazorca con aumento curvilíneo en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 el de mayor valor, y posteriormente hay un descenso del peso del olote en las dosis altas tratamientos 4 y 5, subiendo moderadamente en el tratamiento 6. Lo que indica que el mayor peso de olote se obtuvo con la aplicación de diatomita 400 P a dosis de 18 y 36 kg/ha.

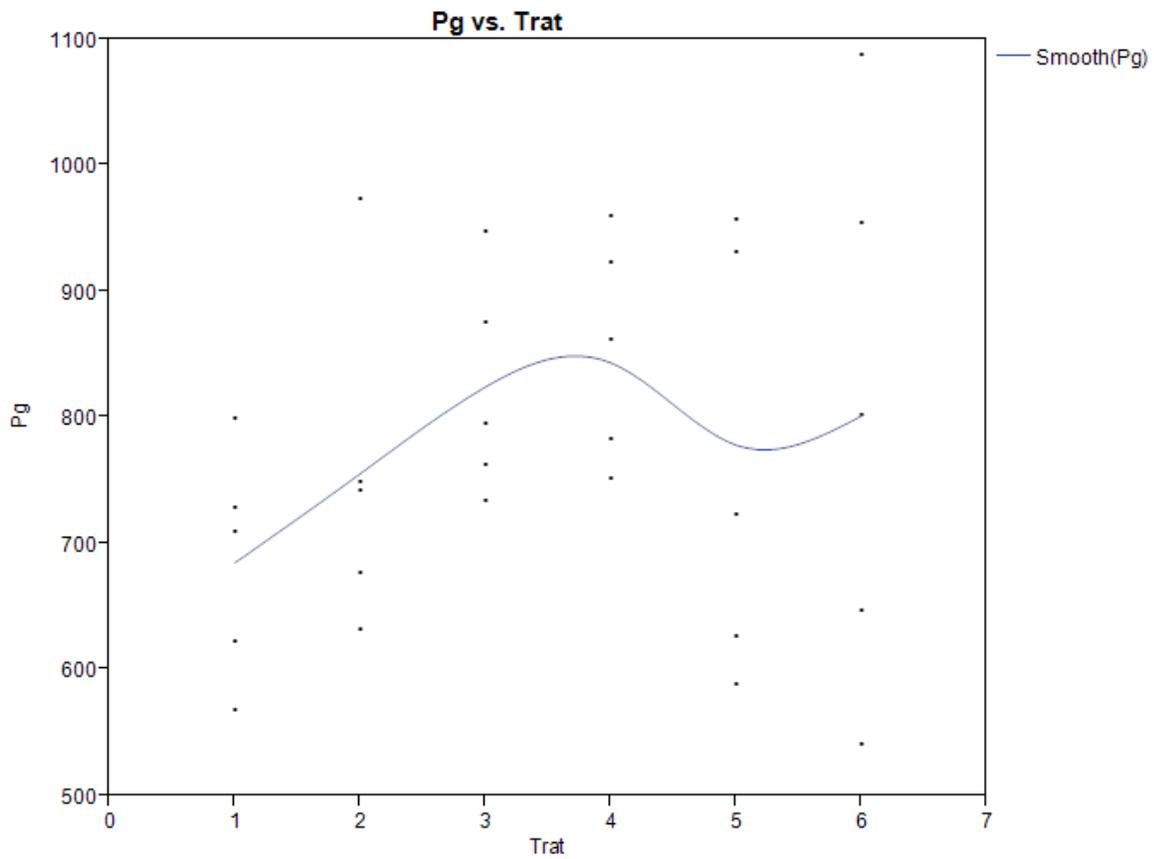


Figura 16. Peso de grano

El comportamiento de la variable peso de grano es muy similar a las variables diámetro, longitud de la mazorca y peso de olote con aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, correspondientes a los tratamientos 1, 2, 3. Nuevamente es el tratamiento 4 a base de FOL 4 L/ha el que muestra ser el mejor en cuanto a los valores obtenidos para peso de grano.

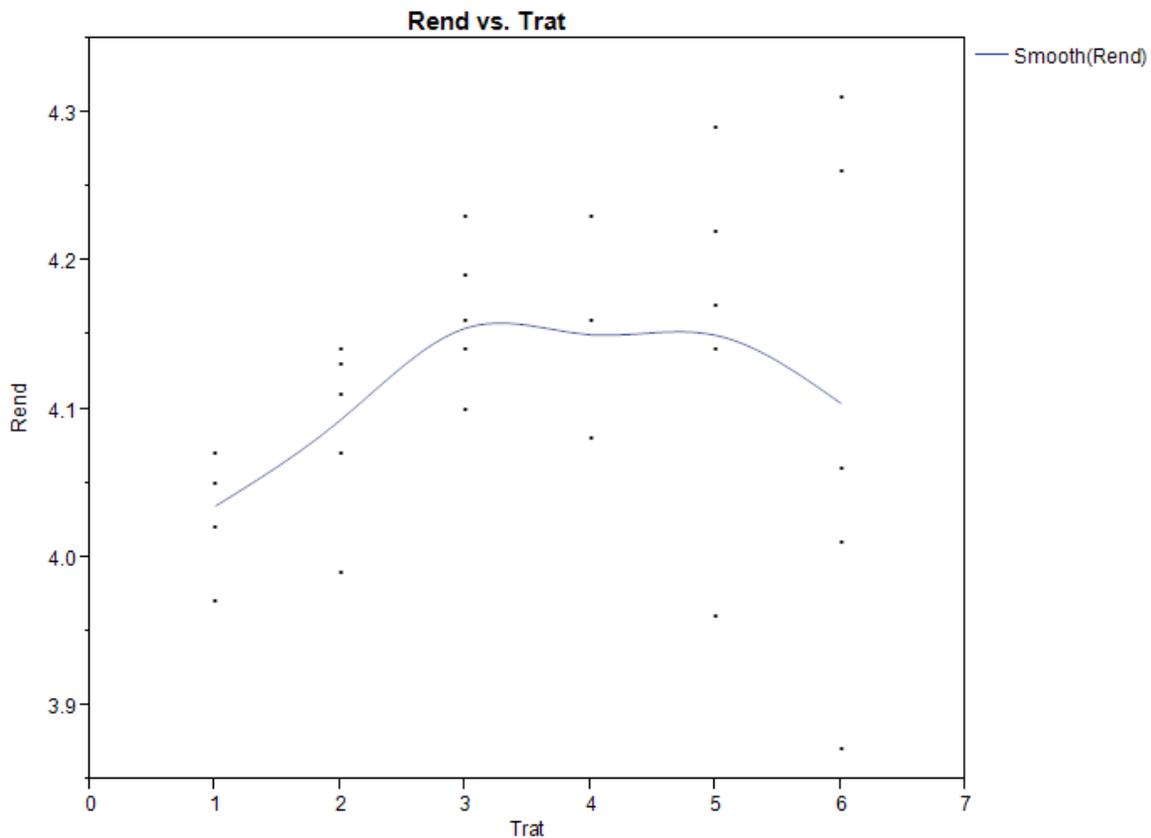


Figura 17. Rendimiento

Los tratamientos 3, 4 y 5 correspondientes a diatomita 400 P (18 kg/ha), FOL (4 L/ha) y diatomita 289 (40 kg/ha), respectivamente, son los que mostraron un mayor rendimiento de grano expresado en ton/ha, disminuyendo en el tratamiento 6, y los menores rendimientos fueron para los tratamientos 1 y 2, los cuales corresponden a las dosis más bajas de FOL y diatomita 289.

4.3.3. Correlación para las variables evaluadas en el cultivo de maíz

En el cuadro 7, se presentan las correlaciones entre las variables evaluadas en el cultivo, las cuales son positivas para todos los casos, las más fuertes se presentaron entre las variables altura de planta y altura de mazorca ($r=.9639$), peso de olote y peso de grano ($r=.8609$), longitud de mazorca y peso de olote ($r=.8246$) y diámetro de mazorca y peso de grano ($r=.8021$); otras correlaciones significativas son las encontradas para longitud de mazorca y peso de grano ($r=.7987$), diámetro de mazorca y longitud de mazorca ($r=.7942$), altura de mazorca y peso de olote ($r=.7765$), diámetro de mazorca y peso de olote ($r=.7756$), altura de planta y peso de olote ($r=.7655$), altura de planta y peso de grano ($r=.7285$), altura de mazorca y peso de grano ($r=.7167$) y peso de grano y rendimiento ($r=.6532$).

Cuadro 7. Correlación para las variables en planta

	Am	Dm	Lm	Nh	Po	Pg	Rend
Ap	0.9639**	0.5808**	0.5758**	0.2441 ^{ns}	0.7655**	0.7285**	0.3991*
Am		0.5351**	0.5521**	0.1968 ^{ns}	0.7765**	0.7167**	0.4425*
Dm			0.7942**	0.2606 ^{ns}	0.7756**	0.8021**	0.3679 ^{ns}
Lm				0.2221 ^{ns}	0.8246**	0.7987**	0.4765*
Nh					0.2354 ^{ns}	0.2821 ^{ns}	0.1388 ^{ns}
Po						0.8609**	0.4522*
Pg							0.6532**

**= significativo a un nivel de confianza del 1%, *= Significativo a un nivel de confianza del 5%,

ns= no significativo.

La significancia estadística está basada en la tabla de valores del coeficiente de correlación r (Anexo 3).

4.3.4. Análisis de factores de los componentes principales sobre la correlación

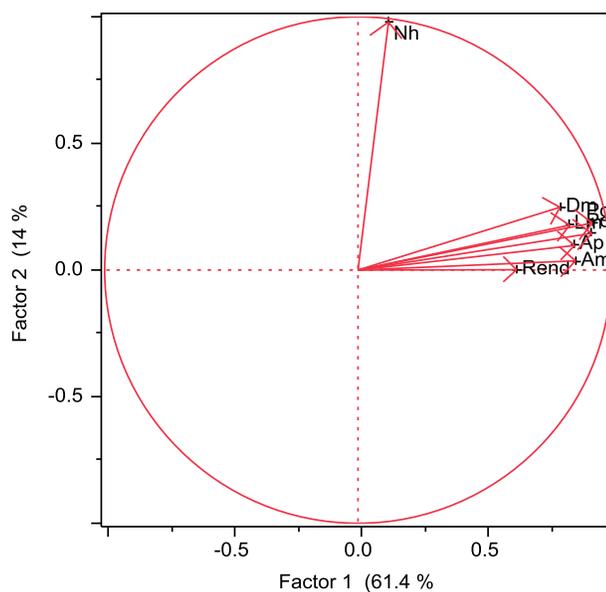


Figura 18. Gráfico de componentes principales para las variables del cultivo

Los factores 1 y 2 suman 75.4 %, los factores correspondientes a altura de mazorca, altura de planta, longitud de mazorca, peso de grano, peso de olote y diámetro de mazorca se encuentran en el primer cuadrante por arriba del eje X, lo cual nos indica que son los factores que repercutieron sobre al Rendimiento que se posicionó en el cuadrante negativo.

CAPITULO V. DISCUSION GENERAL

La producción agropecuaria tiene unos profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Es la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. La agricultura afecta también a la base de su propio futuro a través de la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar.

Esta investigación se enfocó en evaluar el potencial fertilizante de un mineral conocido como diatomita o tierra de diatomeas, ya que contiene una gran cantidad de oligoelementos que pueden contribuir a mejorar la fertilidad natural del suelo, se propone como una solución al problema inherente de la producción de alimentos, pero sin los efectos nocivos de los elementos químicos.

Los resultados de laboratorio en cuanto a propiedades físicas mostraron una mejora del suelo una vez aplicados los tratamientos de fertilización orgánica, ya que incrementaron las partículas de arena y disminuyeron las partículas de arcilla lo cual repercute en la textura del suelo y aunque ésta es una propiedad física difícil de modificar, esos ligeros cambios indican que la aplicación de abonos orgánicos auxilia en la agregación de las partículas más gruesas (arena), permitiendo un mejor movimiento de nutrientes y ayudando a mejorar la biota del suelo. Aksakal y colaboradores (2012) aplicaron diatomita como enmienda al suelo para determinar los efectos de ésta sobre las propiedades físicas y características estructurales del suelo en diferentes texturas bajo condiciones de laboratorio y encontraron que la aplicación de diatomita incrementa significativamente la estabilidad de los agregados, el contenido de humedad y la capacidad de campo.

Otra propiedad física analizada fue la densidad aparente (DA), la cual presentó un ligero descenso con respecto al análisis realizado antes de aplicar los tratamientos, lo que indica que la aplicación de los tratamientos a base de diatomita y fertilizante orgánico contribuyen a una ligera mejoría del suelo, que se refleja en menor compactación del suelo, mejor movimiento de agua y nutrientes. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por

Aksakal y colaboradores (2013) quienes encontraron que la aplicación de diatomita reduce la compactibilidad y mencionan que al aplicar diatomita permitirá que el suelo sea labrado más fácilmente.

Los resultados en cuanto a propiedades químicas indican una mejora general del suelo analizado, ya que la mayoría de las características mostraron un aumento en sus valores. La Materia Orgánica aumento notablemente, lo que se reflejó en los valores del Potasio, Calcio y Magnesio. El aumento de Fósforo es atribuible a la mineralización de este elemento presente en el suelo, ya que no se aplicó una fuente importante de este mineral y sus valores aumentaron notablemente. El Nitrógeno es otro elemento que aumentó considerablemente sus valores, llegando casi al óptimo requerido para un crecimiento normal de los cultivos, lo que puede ser indicador de que los tratamientos contribuyen a absorber el Nitrógeno presente en el suelo, puesto que estos no contienen este elemento entre sus componentes principales; por lo que se recomienda realizar estudios más a detalle sobre la movilidad de este elemento nutritivo al aplicar productos con las características de los materiales evaluados.

Los resultados positivos en los valores de los elementos Nitrógeno y Fósforo son importantes desde el punto de vista ambiental, debido a que estos elementos se aplican de manera frecuente a los terrenos agrícolas lo que genera problemas ambientales como la eutrofización de las aguas superficiales y presencia de estos elementos en aguas subterráneas por la lixiviación hacia mantos acuíferos, de manera que si la aplicación de diatomeas acelera la mineralización de estos elementos nutritivos, favorece a disminuir el problema ambiental generado por el uso excesivo de fertilizantes químicos. De acuerdo a Angin y Yaganoglu, la adición de enmiendas orgánicas pueden mejorar el ambiente del suelo por incrementar la fertilidad, pero algunas pueden ser fuente de contaminación por contener metales pesados y sales solubles, lo cual puede dañar al suelo y plantas, además representan una fuente potencial de lixiviación hacia aguas subterráneas. La diatomita forma parte de las enmiendas inorgánicas, su uso como acondicionador del suelo es nuevo y sus efectos no han sido estudiados, por lo que su uso como parte de una fertilización

potencialmente no representa algún daño para el ambiente, sin embargo esto debe corroborarse con más estudios.

En la tabla 4 del artículo enviado se presentan los valores obtenidos en el laboratorio para las muestras por tratamiento, se puede observar que los valores aumentaron con respecto al testigo para CO, MO, N, P, K, Ca y Na en las dos profundidades y en los seis tratamientos. El pH muestra mayores diferencias en la profundidad de 0-20 cm y en lo que respecta a la profundidad de 20-40 cm únicamente se observan cambios para los tratamientos 4, 5 y 6, correspondientes a FOL (4 L), Diatomea 289 (40 kg) y diatomea 400 P (36 kg) respectivamente, lo que nos conduce a inferir que una mayor cantidad de producto aplicado contribuye al aumento del pH del suelo. El Mg mostró un comportamiento similar al pH, ya que únicamente aumentó para la profundidad de 0-20 cm, no así para la de 20-40 cm que muestran valores inferiores al testigo. La CIC muestra diferencias en los tratamientos, sin embargo, tanto el testigo como los tratamientos se encuentran en un rango de valores de 15-25 Cmol/100gss que representa una capacidad de intercambio media. La CE es la única característica que mostró una disminución en los valores con respecto al testigo, lo que indica que hay una ligera disminución en la salinidad del suelo, en este caso atribuible al efecto de los tratamientos.

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas en las características químicas de CO, MO, N, K y Na, entre los tratamientos (diatomita 289, diatomita 400 P y fertilizante orgánico líquido) y el testigo (suelo experimental antes de establecer los tratamientos), en la fertilización del cultivo de maíz (*Zea mays*, L

Las medias de CO y MO indican que los tratamientos 1 (FOL 2 l/ha), 3 (diatomita 400 P/18 kg/ha) y 6 (diatomita 400 P/36 kg/ha), fueron los mejores con valores entre 4.8% y 5.2% para CO y entre 8.23% y 8.91% para MO. Esta concordancia de grupos resulta evidente ya que la cantidad de MO depende del CO presente en el suelo. Los resultados indican que los tratamientos de FOL (2 L) y diatomea 400 P en la dosis aplicada favorecieron el incremento de MO en el suelo.

La CE (Figura 3) presenta un ligero aumento en el tratamiento 5 (diatomita 289/40 kg/ha) con respecto al testigo que tiene un valor de 0.20, el resto de los tratamientos cuentan con los valores medios más bajos fluctuando entre 0.13 a 0.15. Lo que indica que ha disminuido la cantidad de sales del suelo.

En lo que respecta al K, los mayores niveles se presentaron en el tratamiento 2 (diatomea 289/20 kg ha⁻¹) con una media de 28.8 mg kg⁻¹, seguido del tratamiento 3 (diatomea 400-P/18 kg ha⁻¹), con una diferencia del valor medio de 7.3 mg kg⁻¹.

El Na presentó un aumento ligero con respecto al testigo, siendo los tratamientos 5 y 6 a dosis de 40 y 36 kg ha⁻¹ para diatomea 289 y 400 P respectivamente los que mostraron un incremento en los valores, de la misma manera el tratamiento 2 (diatomea 289 a razón de 20 kg ha⁻¹) mostró un valor de 46.2 mg kg⁻¹. Los tratamientos a base de fertilizante orgánico líquido y la diatomea 400 P a concentración de 18 kg ha⁻¹ fueron los que mostraron valores entre 35.7 y 44.0 mg kg⁻¹. Estos resultados pueden ser debidos a que las tierras de diatomeas tienen sodio entre sus componentes principales.

Para complementar el análisis estadístico, en las variables evaluadas en suelo, se realizó además del ANOVA una correlación y un análisis de componentes principales, mismos que no se incluyeron en el artículo.

El análisis de correlación para las variables evaluadas en suelo muestra una relación positiva perfecta entre CO/MO ($r=1.000$), otras correlaciones positivas se presentaron entre N/K ($r=.6369$), A/Ca ($r=.6258$), N/Ca ($r=.6925$), K/Ca ($r=.6265$), R/Mg ($r=.6026$), pH/Na ($r=.6403$) y N/Na ($r=.7913$). Las correlaciones negativas se presentaron entre A/R ($r=-.6532$), A/DA ($r=-.6258$) y para R/N ($r=-.6413$). Las correlaciones que tienen significancia estadística al 5% son A/R, A/DA, R/N, DA/N, DA/CE, N/K, A/Ca, K/Ca, pH/Na; altamente significativa (1%) N/Ca y N/Na.

El análisis de los componentes principales para las variables en suelo en el factor 1 y 2 suman 51.7% del total (figura 8). Los factores que más influencia presentan son el Na, CO,

MO y el N, lo cual se ve reflejado en la disminución de la DA, ya que al aumentar la materia orgánica del suelo, la densidad aparente tiende a disminuir. Se puede observar que el factor que presenta mayor influencia es el Na, lo cual repercute directamente sobre el pH del suelo, llevando a este último a aumentar su valor. Cabe la posibilidad de que la diatomita y el fertilizante orgánico líquido hayan actuado como enmiendas al suelo contribuyendo a aumentar la actividad microbiana y esta actividad a su vez contribuyó a la mineralización de la MO, lo que permitió liberar una mayor cantidad de los nutrientes, por lo que el calcio, fósforo y potasio también se ubicaron dentro de los factores con mayor influencia.

En el artículo enviado únicamente se consideraron los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de suelo, debido a que los resultados referentes al cultivo no mostraron significancia estadística mediante el análisis de varianza realizado, además de que solamente se ha trabajado un año agrícola con la aplicación de los productos evaluados por lo que los resultados obtenidos no son suficientes para asegurar que estos son debidos a la influencia de los tratamientos, aunado a esta particularidad, el ciclo agrícola en el que se trabajó el experimento, presentó condiciones ambientales irregulares (helada tardía, lluvias escasas al inicio del ciclo agrícola, inundación del terreno durante la etapa de desarrollo), estas condiciones fueron desfavorables para los cultivos en la mayor parte de los campos experimentales, reflejándose en una germinación poco homogénea que provocó un crecimiento irregular de las plantas cultivadas, aquellas plantas que estuvieron expuestas a excesiva cantidad de agua presentaron un daño severo a las raíces, por lo que los resultados del rendimiento pueden ser atribuidos tanto al efecto de los tratamientos como al ambiente mismo.

En el cuadro 6 se describen las variables evaluadas en el cultivo de maíz y los valores obtenidos en F mediante el análisis de varianza, mismos que para ninguna de las variables muestran significancia estadística a un nivel de confianza alpha 0.05. Razón por la cual el estudio se complementó con gráficas dosis-respuesta de cada una de las variables con respecto a los tratamientos, una correlación y un análisis de factores principales.

La figura 10 representa la variabilidad en la altura de planta de cada uno de los tratamientos, los tratamientos 1, 5 y 6 correspondientes a FOL (2 l/ha), diatomita 289 (40 kg/ha) y diatomita 400 P (36 kg/ha) mostraron la menor altura de planta, mientras que el tratamiento 4 correspondiente a FOL (4 l/ha), demostró ser el mejor para esta variable, seguido de los tratamientos 2 y 3 que corresponden a las dosis más bajas de la diatomita 289 (20 kg/ha) y diatomita 400 P (18 kg/ha). La respuesta de la variable altura de mazorca es muy similar a la variable altura de planta, ya que es el tratamiento 4 es el que muestra el mejor comportamiento, y el tratamiento 1 y 5 son los tratamientos en los que se obtuvo la menor altura de mazorca.

El diámetro de mazorca presenta un aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 el de mayor valor, y posteriormente hay un descenso del diámetro de la mazorca en las dosis altas, tratamientos 4 y 5, subiendo moderadamente en el tratamiento 6. El comportamiento de la variable longitud de mazorca es idéntico a la variable diámetro de mazorca con aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 y 6 los que muestran el mayor valor, estos tratamientos corresponden a la aplicación de diatomita 400 P. El comportamiento del peso de olote es similar al del diámetro y longitud de la mazorca con aumento curvilíneo en las dosis bajas del abono empleado, siendo el tratamiento 3 el de mayor valor, y posteriormente hay un descenso del peso del olote en las dosis altas tratamientos 4 y 5, subiendo moderadamente en el tratamiento 6. Lo que indica que el mayor peso de olote se obtuvo con la aplicación de diatomita 400 P a dosis de 18 y 36 kg/ha. El comportamiento de la variable peso de grano es muy similar a las variables diámetro, longitud de la mazorca y peso de olote con aumento lineal en las dosis bajas del abono empleado, correspondientes a los tratamientos 1, 2, 3. Nuevamente es el tratamiento 4 a base de FOL 4 L/ha el que muestra ser el mejor en cuanto a los valores obtenidos para peso de grano.

Los valores en la variable número de hileras de la mazorca presentan poca variabilidad ya que todos los tratamientos están entre el rango de 13.0 y 14.0 hileras. Los tratamientos que tuvieron el número de hileras más alto son el 5 y el 6, correspondientes a las dosis altas de diatomitas 289 y 400 P.

Los tratamientos 3, 4 y 5 correspondientes a diatomita 400 P (18 kg/ha), FOL (4 L/ha) y diatomita 289 (40 kg/ha), respectivamente, son los que mostraron un mayor rendimiento de grano expresado en ton/ha, disminuyendo en el tratamiento 6, y los menores rendimientos fueron para los tratamientos 1 y 2, los cuales corresponden a las dosis más bajas de FOL y diatomita 289.

En el cuadro 7, se presentan las correlaciones que existen entre las variables evaluadas en el cultivo de maíz, las cuales son positivas para todos los casos, las correlaciones más fuertes se presentaron entre las variables altura de planta y altura de mazorca ($r=.9639$), peso de olate y peso de grano ($r=.8609$), longitud de mazorca y peso de olate ($r=.8246$) y diámetro de mazorca y peso de grano ($r=.8021$); otras correlaciones significativas son las encontradas para longitud de mazorca y peso de grano ($r=.7987$), diámetro de mazorca y longitud de mazorca ($r=.7942$), altura de mazorca y peso de olate ($r=.7765$), diámetro de mazorca y peso de olate ($r=.7756$), altura de planta y peso de olate ($r=.7655$), altura de planta y peso de grano ($r=.7285$), altura de mazorca y peso de grano ($r=.7167$) y peso de grano y rendimiento ($r=.6532$). La significancia estadística en el rendimiento se dio en la relación que guarda este con el peso de olate, longitud y altura de mazorca y altura de planta, y altamente significativa para peso de grano y rendimiento.

Los factores 1 y 2 suman 75.4 %, los factores correspondientes a altura de mazorca, altura de planta, longitud de mazorca, peso de grano, peso de olate y diámetro de mazorca se encuentran en el primer cuadrante por arriba del eje X, lo cual nos indica que son los factores que repercutieron sobre al Rendimiento que se posicionó en el cuadrante negativo.

La escases de bibliografía sobre el tema no permite discutir los resultados obtenidos en esta investigación a la luz de trabajos científicos internacionales, por lo cual resulta importante continuar trabajando sobre la factibilidad del uso de productos naturales en la fertilización de los cultivos, ya que esto favorecerá de manera positiva tanto al ambiente al dejar de recibir la gama de productos químicos utilizados para obtener productos de calidad, como a la salud humana al consumir productos libres de partículas dañinas que llegan a nosotros a través de la cadena alimenticia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La evaluación del efecto fertilizante de la tierra de diatomeas (diatomita) a través del análisis de las características físicas y químicas de las muestras de suelo tomadas antes y después de aplicar los tratamientos propuestos en esta investigación, indica que los valores obtenidos después de la aplicación de los tratamientos son más altos principalmente en las características químicas de pH, CO, MO, CE, N, P, K, Ca y Na con respecto al testigo, los valores que no presentan diferencias son CIC y Mg. Mediante el análisis de varianza las propiedades químicas que tuvieron diferencias significativas son CO, MO, N, K y Na. Con lo cual se da respuesta a la hipótesis planteada.

Mediante la evaluación de los resultados se observó que todos los tratamientos contribuyeron a mejorar las características físicas de textura y densidad aparente aunque en pequeña proporción. La naturaleza del estudio no nos permite concluir cuál de los tratamientos aplicados fue el mejor puesto que cada uno de ellos contribuyó de alguna manera en la mejora de las características físico químicas evaluadas.

El rendimiento del cultivo del cultivo fluctuó entre 3.8 y 4.3 toneladas por hectárea, este rendimiento es bajo si se considera que la variedad con la que se trabajó tiene un rendimiento promedio de 8 toneladas. Sin embargo vale la pena destacar que al tratarse de una variedad mejorada, ésta demanda cantidades específicas de nutrientes, mismas que no le fueron aportadas para el caso de esta investigación y aunado a las condiciones climáticas inherentes al ciclo agrícola, el rendimiento obtenido puede considerarse bueno, ya que está dentro del promedio para un cultivo de maíz en la región.

La comparación de los tratamientos a base de diatomita 289, diatomita 400-P y el fertilizante orgánico para las variables evaluadas en el suelo, mediante graficas dosis-respuesta mostraron que para las variables altura de planta (AP) y altura de mazorca el mejor tratamiento fue el 4 correspondiente a FOL (4 l/ha), seguido de los tratamientos 2 y 3 que corresponden a las dosis más bajas de la diatomita 289 (20 kg/ha) y diatomita 400 P

(18 kg/ha). Las variables diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), peso de olote (PO) y peso de grano (PG) se asemejan ya que todas presentan un aumento lineal siendo el tratamiento 3 y 6 los que muestran el mayor valor para las tres primeras variables, estos tratamientos corresponden a la aplicación de diatomita 400-P en las diferentes dosis; para el peso de grano es el tratamiento 4 a base de FOL 4 L/ha el que muestra ser el mejor en cuanto a los valores obtenidos para esta variable.

Los tratamientos 3, 4 y 5 correspondientes a diatomita 400 P (18 kg/ha), FOL (4 L/ha) y diatomita 289 (40 kg/ha), respectivamente, son los que mostraron un mayor rendimiento de grano expresado en ton/ha, disminuyendo en el tratamiento 6, y los menores rendimientos fueron para los tratamientos 1 y 2, los cuales corresponden a las dosis más bajas de FOL y diatomita 289.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten inferir que las diatomitas pueden ser una alternativa para ser utilizadas como fertilizante en el cultivo de maíz, ya que las características físicas y químicas del suelo mostraron un ligero incremento en los valores una vez aplicados los tratamientos, sin embargo es importante realizar estudios posteriores que permitan corroborar los resultados de esta investigación y encontrar la dosis óptima para ser aplicada, ya que aunque los resultados favorecen para decir que las diatomitas pueden ser utilizadas en la fertilización agrícola, también es importante mencionar que un solo ciclo evaluado no es suficiente para dar por sentado que los resultados aquí obtenidos sean totalmente dados por el efectos de los tratamientos y no consideramos las interacciones que se dan en el suelo con la presencia de un cultivo.

Recomendaciones

Debido a que hasta el momento no existen estudios previos sobre la utilización de diatomitas como fertilizante, se recomienda realizar estudios que permitan verificar la posibilidad de integrar este mineral como fertilizante orgánico o bien como complemento a la fertilización tradicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, C., Chávez, T., García, P. y Raya, J. C. (2007). El Silicio en los organismos vivos. INCI. Vol. 32. No. 8. Pág. 504-509. [consulta online, 19 octubre de 2011]. WWW:<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000800004&Ing=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844
- Aksakal, E.L., Angin, I., Oztas, T., 2012. Effects of diatomite on soil physical properties. *Catena* 88, 1-5.
- Aksakal, E.L., Angin, I., Oztas, T., 2013. Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena* 101, 157-163.
- Alexander, M. (1994). *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT Editor, S. A. México. Pág. 13, 27, 91.
- Alexandratos, N. (1995). *Agricultura mundial hacia el año 2010*. Estudio de la FAO, Mundi-Prensa, España.
- Anderson, R. A. (2005). *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic, California, USA.
- Angin, I., Yaganoglu, A.V., 2009. Application of sewage sludge as a soil physical and chemical amendment. *Ekoloji* 19, 39-47.
- Aubert, H. y Pinta, M. (1971). *Trace elements in soils*. O.R.S.T.O.M. Paris, Francia. http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=6-JESjZ-VPEC&oi=fnd&pg=PP2&dq=papers+trace+in+soils&ots=mdc-E1WG5F&sig=KQ1v_rrg7JyTS_ILsk01mmJMRA4#v=onepage&q=papers%20trace%20in%20soils&f=false
Fecha de consulta 6 de noviembre de 2011.
- Baglione Luis (2011). *Revista Técnicaña* No. 27, Septiembre www.tecnica.org/pdf/2011/tec_no27_2011_p33-34.pdf
- Borowitzka, M (1995). Microalgae as sources of pharmaceuticals and otherbiological active compounds. *J Appl. Phycol.* 7: 3-15.
- Bunch, R. (2003). Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain soil fertility in the tropics.
- Buol, S. W., Hole, F. D. y McCracken, R. J. (1991). *Génesis y clasificación de suelos*. Editorial trillas, México. p 23 y 24.

Cantú A., M. y Reyes M., C. (2002). Maíces tolerantes a bajos niveles de humedad en el norte de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Rio Bravo. Rio Bravo, Tamaulipas, México. (Publicación Especial Núm. 25.) p 17-19.

Cepeda Dovala Juan Manuel. (2009). Química de suelos. Ed. Trillas. 2da. Ed., Pág. 17.

Davidson A.T. (1998). The impact of UVB radiation on marine plankton. *Mutat. Res.* 422: 119-129.

Díaz F., A (2002). Incremento de la Productividad del sorgo y Maíz mediante la biofertilización, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Rio Bravo. Rio Bravo, Tamaulipas, México. (Publicación Especial Núm. 25.) p 11-13.

Durán A., M. (1992). Suelos. In: Hess., M., L. y Pérez D. (eds.) Manual de cultivos del norte de Tamaulipas. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos/patronato para la investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. Matamoros Tamaulipas, México. p. 11-16

Ebeling W. 1971. Sorptive dusts for pest control. *Annu. Rev. Entomol.* 16: 123-158.

Edlund, M.B. y E. F. Stoermer.(1997). Review: Ecological, evolutionary, and systematic significance of diatom life histories *J. Phycol.*, p. 33: 987-918.

Epstein, E. (1999). "Silicon". En: *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. Vol. 50. pp. 641-664.

E. Strasburger. 1991. Tratado de botánica. Edición actualizada por P. Sitte, H. Ziegler, F. Ehrendorfer y A. Bresinsky. Ed. Omega. Pag. 638. Pp. 1068.

FAO, (1981). Ecología y enseñanza rural. Departamento de montes.

<http://www.fao.org/DOCREP/006/W1309S/w1309s04.htm>

Fauteux F, Rémus-Borel W, Menzies JG, Bélanger RR (2005) Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol.Lett.* 249: 1-6.

Fields PG, Fleurat-Lessard F, Lavenseau L, Febvay G, Peypelut L. 1998. The effect of cold acclimation and deacclimation on cold tolerance, trehalose and free amino acid levels in *Sitophilus granarius* and *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera). *J. Insect. Physiol.* 44: 955-965.

Fields PG, White ND. 2002. Alternatives to methyl bromide treatments for storeproduct and quarentine insects. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 331-359.

Flower, R. J. (2007).Diatom Methods/Quaternary Geological Records.*Encyclopedia of Quaternary Science*.University College London, London, UK.Pág 507-514

Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M. N. y Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil diversity and agroecosystem function. *App. Soil Ecol.* 6, 3-16.

Golob P. 1997.Current and future perspective for inert dusts for control of stored product insects. *J. Stored Prod. Res.* 33: 69-79.

Gunes A, Inal A, Bagci EG, Pilbeam DJ (2007) Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic- β toxic soil. *Plant Soil* 290: 103-114.

Harry B. Gray y Gilbert P. Haight. *Principios basicos de quimica*. Ed Reverté 1980. Pag 20-44

Harwood, M.D. 2010. Diatomite in *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*, 2nd edition, eds. Jonh P. Smol and Eugene F. Stoermer. Published by Cambridge University Press. Pag. 570-574.

Hasle G. R. y Fryxell G. A. (1995). Taxonomy of diatoms 339-364.En hallegraeff, G. M., D. M. Anderson y A. D.cembelle (Eds).*Manual of harmful marine microalgae* Intergovernmental oceanographic commission of UNESCO, Paris p.793.

Hidalgo, C., Etchevers, D. J., Richa, M. A., Madeira, Y. Calderon, A. H., Vera, G. R., Matus, F. (2010). Mineralogical characterization of the fine fraction ($b2 \mu\text{m}$) of degraded volcanic soils and tepetates in Mexico. *Applied Clay Science* 49 pag 348–358

Hildebrand M, Wetherbee R. (2003). Components and control of silicification in diatoms.En Müeller WEG (Ed.) *Silicon Biomineralization*.Progress in Molecular and Subcellular Biology.Vol. 33. Springer. Heidelberg, Alemania. pp. 11-57.

INEGI (2000) Marco Geoestadístico. INEGI-DGG. Superficies Nacionales y Estatales.

Jiménez, R. (1983). Diatomeas y Silicoflagelados del Fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacifico*. Vol.2, No. 2. 2nd. Edición. http://www.inocar.mil.ec/ver_actas.php?ia=2&ta=O&ne=2&a=1

- Jones, V. (2007). Diatom introduction. *Encyclopedia of Quaternary Science*. Pages 476-484.
- Jong-Yuh, S. Mei-Fen. (2005). Potencial hypoglycemic affects of *Chorella* in streptozotocin-induced diabetic mice. *LifeSci*. p 77: 980-990.
- Korunic Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *J. Stored Prod. Res.* 33: 219-229
- Leita, L., M. De Nobili, C. Mondini, G. Muhlbachova, L. Marchiol, G. Bragato, and M. Contin. (1999). Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biol.FertilitySoils* 28:371-376.
- López Mtz., José Dimas, Díaz Estrada, Antonio; Martínez Rubin, Enrique; Valdez Cepeda, Ricardo D. 2001. "Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz". *Terra Latinoamericana*, núm. octubre-diciembre, pp. 293-299.
- Lowenstam HA (1981). Minerals formed by organisms. *Science* 211: 1126-1131.
- Ma JF, Mitani N, Nagao S, Konishi S, Tamai K, Iwashita T, Yano M (2004) Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiol.* 136: 3284-3289.
- Martin-Jézéquel V, Hildebrand M, Brzezinski MA. (2000). Silicon metabolism in diatoms: implications for growth. *J. Phycol.* 36: 821-840.
- Masojidek, J. & G. Torzillo. (2008). Mass cultivation of freshwater microalgae, p.2226-2235. In S.E. Jørgensen & B.D. Fath (eds.), *Ecological Engineering*, Vol. 3, *Encyclopedia of Ecology* Elsevier, Oxford.
- McGechan, M.B., Lewis, D.R. (2000). Watercourse pollution due to surface runoff following slurry spreading. Part 2: decision support to minimize pollution. *Journal of Agricultural Engineering. Research* 75, 417-428.
- Milligan AJ, Morel FMM (2002) A Proton Buffering Role for Silica in Diatoms. *Science* 297: 1848-1850.
- Norstog and Long. (1976). *Plant Biology* W.B. Saunders Company.
- Olivares S. E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. Facultad de agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México.

ONU (Organización de las Naciones Unidas) (1987). Environmental perspective to the year 2000 and beyond. Proceedings of the 96th plenary meeting. ONU.EE.UU.

Peter H. Raven y Helena Curtis. 1975. Biología vegetal. Ed. Omega. Pag. 457 pp 716.

Powlson, D. S. 1994. The soil microbial biomass: before, beyond and back. In: Ritz K., J. Dighton, and K. E. Giller (eds). Beyond the Biomass. Wiley. Chichester. pp: 3-20.

Quid (1983). gran enciclopedia universal QUID ilustrada. Promexa. México.

Ramos Verónica, Egüez Hugo, Ladines Lely, Carrión Paúl. (2004). Perspectivas de la explotación y aplicación de tierra de diatomeas en la península de Santa Elena. Revista Tecnológica. Junio. Vol. 17, No.1.

Raven JA (1983) The transport and function of silicon in plants. Biol. Rev. 58: 179-207.

Reyes M., C.; Girón C., R. y Rosales R., E. (1992). Guía para producir maíz en el Norte de Tamaulipas. Instituto nacional de investigación Forestal y Agropecuaria, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Rio Bravo, Rio Bravo, Tamaulipas, México. (Publicación Especial Núm. 25.) p.31.

Reyes, R. G. (2003). La degradación del suelo: fuente de contaminación ambiental. Principios básicos de contaminación ambiental. Compiladores: Luz Marí Solís Segura y Jerónimo Amado López Arriaga. UAEM.

Rodríguez Fuentes, Humberto y Rodríguez Absi, José. (2002). Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Ed. Trillas, 2da. Ed. Págs. 11, 17.

Romero-Aranda M, Jurado O, Cuartero J (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. J. Plant Physiol. 163: 847-855.

Round FE, Crawford RM, Mann DG (1990) The diatoms Cambridge University Press, Cambridge, P 747.

Saffigna, P. G., D. S. Powlson, P. C. Brookes, and G. A. Thomas. (1989). Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. Soil Biol. Biochem. 21: 759-765.

Salinas G., J. (2002). Labranza para la conservación de suelo y agua en el norte de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Rio Bravo, Rio Bravo, Tamaulipas, México. (Publicación Especial Núm. 25.) p.9-10.

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1988. Instructivo para análisis de suelos. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Edición preliminar para revisión. Chapingo, México.

SEMARNAT-CP. (2003). Memoria Nacional. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, a escala 1:250,000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Colegio de Postgraduados. México, D. F.

Serrato, C. R. y Landeros, F. V. (2001). Instructivo para análisis de suelos propiedades químicas. Universidad Autónoma del Estado de México, laboratorio de suelos CIEAF, México. pag.7.

Sharpley, A.N., Beegle, D., (1999). Managing phosphorus for agriculture and the environment. Cooperation Extension Service, Pennsylvania State University, University Park.

Smetacek V (1999) Diatoms and the ocean carbon cycle. *Protist* 150: 25-32.

Smolinska, B. Cedzynska, K. (2007). EDTA and urease effects on Hg accumulation by *Lepidium sativum* L. *Chemosphere*, 69 (9), 1388-1395

Stephen Clarson, et al. 2001, UC Engineers Join Forces with Air Force Scientists.

Statistical Analysis Systems Institute (SAS institute). (1999) SAS/STAT user' s guide. Release 8. SAS, institute Cary, N. C., USA.

Tilman, D., Farione J., Wolf B., D'Antonio C., Dobson A., Howarth R., Schindler D., Schlesinger W. H.,

Thomas M. Little y F. Jackson Hills. 2010. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. Pág. 245.

USGS (United States Geological Survey), 2008. USGS Minerals Information – Diatomite. Available at <http://minerals/pubs/commodity/diatomite/#pubs>.

Vincent C, Hallman G, Panneton, Fleurat-Lessard F. 2003. Mangement of agricultural insects with physical control methods. *Annu. Rev. Entomol.* 48: 261-281

Wang Y, Stass A, Hörst WJ (2004) Apoplastic binding of aluminum is involved in siliconinduced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiol.* 136: 3762-3770.

Wu, L., McGechan, M.B., Lewis, D.R., Hooda, P.S., Vinten, A.J.A., (1998). Parameter selection and testing the soil nitrogen dynamics model SOIL N. *Soil Use Management* 14, 170-181.

www.agropuli.com/silicio%20organico.pdf. Fecha de consulta 15 de agosto de 2011.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica Celite 289 (Tierra de diatomeas)



Imerys Diatomita México, S.A. de C.V.

José Antonio Torres No. 400 s/Colonia; General Andrés Figueroa, Jalisco, C.P.45765

Conmutador: (52 326) 434-2000 Fax: (52 326) 434 2067

Oficinas México: (52 55) 5279-9170 Fax: (52 55) 5279-9183

Technical Data

Celite 289™

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES

Color	White / Brown
Appearance	Powder
Origin	Plankton Fresh Water Diatomite
Description	Natural Product Filler
Moisture as shipped, %	4.8
Oil Absorption*, g oil / 100 g pigment	190
Wet Density, g/L	243
325 Mesh Screen Residue, %	5.0
Water Absorption, %	280
Reflectance (Green Light), %	83
Specific Gravity	2.3
pH	7.0

TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS, %

SiO ₂	90.0
Al ₂ O ₃	5.2
Fe ₂ O ₃	2.7
P ₂ O ₅	0.1
TiO ₂	0.2
CaO	0.8
MgO	0.3
Na ₂ O + K ₂ O	0.6

* Based on ASTM D-1483 (Gardner-Coleman)

The typical physical or chemical properties of Imerys Diatomita Mexico products represent average values obtained in accordance with accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Typical data shown above are considered accurate and reliable; no guarantee is given or intended.

January / 09 / 2012

Anexo 2. Ficha técnica Celite 400-P (Tierra de diatomeas).



IMERYS

Imerys Diatomita México, S.A. de C.V.

José Antonio Torres No. 400 s/Colonia; General Andrés Figueroa, Jalisco, C.P.45765

Conmutador: (52 326) 434-2000 Fax: (52 326) 434 2067

Oficinas México: (52 55) 5279-9170 Fax: (52 55) 5279-9183

Technical Data

Celite 400 D™

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES

Color	White / Brown
Appearance	Powder
Origin	Plankton Fresh Water Diatomite
Description	Natural Product Filler
Moisture as shipped, %	5.1
Oil Absorption*, g oil / 100 g pigment	224
Wet Density, g/L	240
325 Mesh Screen Residue, %	0.5
Water Absorption, %	290
Reflectance (Green Light), %	88.7
Specific Gravity	2.3
pH	8.5

TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS, %

SiO ₂	92.5
Al ₂ O ₃	3.2
Fe ₂ O ₃	1.7
P ₂ O ₅	0.1
TiO ₂	0.2
CaO	0.8
MgO	0.4
Na ₂ O + K ₂ O	0.6

* Based on ASTM D-1483 (Gardner-Coleman)

The typical physical or chemical properties of Imerys Diatomita Mexico products represent average values obtained in accordance with accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Typical data shown above are considered accurate and reliable; no guarantee is given or intended.

January / 09 / 2012

Anexo 3. Tabla para obtener los valores del coeficiente de correlación r.

Tabla A.7. Valores del coeficiente de correlación r, para ciertos niveles de significación.

Grados de libertad	Probabilidad de obtener un valor tan grande o mayor			
	0.1	0.05	0.01	0.001
1	0.9879	0.9969	0.9999	1.0000
2	0.9000	0.9500	0.9900	0.9990
3	0.8054	0.8783	0.9587	0.9912
4	0.7293	0.8114	0.9172	0.9741
5	0.6694	0.7545	0.8745	0.9507
6	0.6215	0.7067	0.8343	0.9249
7	0.5822	0.6664	0.7977	0.8982
8	0.5494	0.6319	0.7646	0.8721
9	0.5214	0.6021	0.7348	0.8471
10	0.4973	0.5760	0.7079	0.8233
11	0.4762	0.5525	0.6835	0.8010
12	0.4575	0.5324	0.6614	0.7800
13	0.4409	0.5139	0.6411	0.7603
14	0.4259	0.4973	0.6226	0.7420
15	0.4124	0.4821	0.6055	0.7246
16	0.4000	0.4683	0.5897	0.7084
17	0.3887	0.4555	0.5751	0.6932
18	0.3783	0.4438	0.5614	0.6787
19	0.3687	0.4329	0.5487	0.6652
20	0.3598	0.4227	0.5368	0.6524
25	0.3233	0.3809	0.4869	0.5974
30	0.2960	0.3494	0.4487	0.5541
35	0.2746	0.3246	0.4182	0.5189
40	0.2573	0.3044	0.3932	0.4896
45	0.2428	0.2875	0.3721	0.4684
50	0.2306	0.2732	0.3541	0.4433
60	0.2108	0.2500	0.3248	0.4078
70	0.1954	0.2319	0.3017	0.3799
80	0.1829	0.2172	0.2830	0.3568
90	0.1726	0.2050	0.2673	0.3375
100	0.1638	0.1946	0.2540	0.3211

Esta tabla se ha resumido de la tabla 4 de Fisher y Yates: *Statistical Tables for Biological Agricultural, and Medical Research*, publicada por Oliver and Boyd Limited, Edimburgo, con autorización de los autores y editores.

Anexo 4. Fotografías de algunas etapas del experimento



Figura 19. Colocación de las muestras para su secado



Figura 20. Secado de las muestras a temperatura ambiente



Figura 21. Parcela experimental (primera semana de junio) muestra una germinación irregular debida a la escases de lluvia



Figura 22. Deshierbe del cultivo, anterior a la segunda aplicación de los tratamientos



Figura 23. Hojas dañadas por helada ocurrida a finales de mayo de 2012 y hojas sanas