



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN UNIDAD OAXACA

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN CONSERVACION Y APROVECHAMIENTO
DE RECURSOS NATURALES
ESPECIALIDAD EN PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETAL**

**FERTILIZACIÓN ÓRGANO-MINERAL Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE
SUELOS CULTIVADOS CON MAÍZ EN NOCHIXTLÁN, OAXACA.**

T E S I S.

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA:**

GRICEL CRUZ DOMÍNGUEZ

SANTA CRUZ, XOXOCOTLAN, OAXACA, ENERO DE 2011



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 13 del mes de diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **"Fertilización órgano-mineral y su efecto en las propiedades de suelos cultivados con maíz en Nochixtlán, Oaxaca"**.

Presentada por el alumno:

| Cruz Apellido paterno | Dominguez materno | Gricel nombre(s) | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Con registro: <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>A</td><td>0</td><td>9</td><td>0</td><td>2</td><td>6</td><td>0</td></tr></table> | A | 0 | 9 | 0 | 2 | 6 | 0 |
| A | 0 | 9 | 0 | 2 | 6 | 0 | | | |

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
Directores de tesis:

Dra. Martha Angelica Bautista Cruz

Dr. Celerino Robles Pérez

Dr. Alfonso Vásquez López

Dra. María de la Nieves Rodríguez Mendoza

Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Juan Rodríguez Ramírez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día **13** del mes de **diciembre del año 2010**, el (la) que suscribe **Cruz Domínguez Gricel** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **A090260**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los Drs. Martha Angélica Bautista Cruz y Celerino Robles Pérez, "**Fertilización órganomineral y su efecto en las propiedades de suelos cultivados con maíz en Nochixtlán, Oaxaca**". y cede los derechos al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó cd_gricel@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Cruz Domínguez Gricel



RESUMEN

En los agroecosistemas existe una disminución en la fertilidad del suelo debido a la remoción de nutrientes por el cultivo y/o por pérdida de suelo, este deterioro puede ser subsanado mediante el uso de fertilizantes químicos y orgánicos. En este estudio se evaluó el efecto de 7 tratamientos de fertilización: control absoluto (CA) sin fertilización; control positivo (C+) fosfato diamónico (18-46-00) + sulfato de amonio (20-00-00) + urea (46-00-00); composta bocashi (C); fertilizante de liberación lenta 1 (FLL1) (Multigro 6, 21-14-10 de NPK) + urea; FLL2 (Multigro 3, 24-05-14 de NPK) + súper fosfato triple; C + FLL1 y C + FLL2, en el ciclo primavera-verano 2009 sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en el crecimiento, rendimiento y proteína cruda en grano de plantas de maíz. La evaluación se realizó bajo condiciones de temporal en la Mixteca Oaxaqueña en un suelo de planicie con textura franco arcillosa y color marrón; y en un suelo de terraza con textura franco arcillosa y color rojo amarillento. Durante el tiempo que duró el estudio, los tratamientos de fertilización evaluados no tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de agregados hidroestables en ninguno de los dos suelos. La densidad aparente disminuyó únicamente con FLL1 (1.03 Mg m^{-3}) respecto al C+ (1.09 Mg m^{-3}) en el suelo de planicie. El pH en suelo de planicie disminuyó en FLL2 (8.12), FLL1 (8.29), C (8.35), respecto a CA (8.48), aunque FLL2 fue el único que presentó un valor menor respecto a C+ (8.44). En suelo de terraza FLL2 (8.03) y C-FLL1 (8.07) disminuyeron respecto a C+ (8.30) y CA (8.33). El contenido de N-total, de Mg^{2+} y de K^{+} intercambiables no mostró un efecto significativo con los tratamientos de fertilización en ninguno de los dos suelos. No hubo una respuesta significativa en el contenido de carbono orgánico en el suelo de planicie. En el suelo de terraza, el contenido más alto de esta variable se obtuvo con FLL1 (1.07%) y FLL2 (1.13%) con relación al C+ (0.79%). El contenido de P disponible en el suelo de planicie fue más alto con FLL2 (57.32 mg kg^{-1}) respecto al CA (6.44 mg kg^{-1}) y al C+ (17.80 mg kg^{-1}). En el suelo de terraza, el contenido de este nutriente fue mayor solamente con C-FLL2 (46.14 mg kg^{-1}) respecto al CA (8.84 mg kg^{-1}) y al C+ (38.05 mg kg^{-1}). El contenido de Ca^{2+} intercambiable fue afectado positivamente solo en el suelo de planicie con la aplicación de composta únicamente ($25.47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) con

referencia al control absoluto ($22.07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). La capacidad de intercambio catiónico en el suelo de planicie disminuyó con FLL1, C-FLL1 y C-FLL2 respecto al C+. En el suelo de terraza, la capacidad de intercambio catiónico aumentó con C ($34 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), FLL1 ($33.67 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), FLL2 ($34.68 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), C-FLL2 ($33.08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) con referencia al CA ($26.97 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). El carbono microbiano en el suelo de planicie fue mayor con FLL1 ($1919.48 \mu\text{g g}^{-1}$), C-FLL1 ($1379.88 \mu\text{g g}^{-1}$), C-FLL2 ($1493.29 \mu\text{g g}^{-1}$) y C ($1457.93 \mu\text{g g}^{-1}$) respecto al C+ ($1315.11 \mu\text{g g}^{-1}$). En el suelo de terraza, el carbono microbiano únicamente con la C ($1607.00 \mu\text{g g}^{-1}$) mostro valores más altos con relación al CA ($984.08 \mu\text{g g}^{-1}$). En ambos suelos, el diámetro de las plantas de maíz se incrementó con la aplicación de Multigro 6, Multigro 3 y la mezcla de éstos con la composta con relación al control absoluto. La altura de la planta no se vio afectada por ninguno de los tratamientos de fertilización en ambos suelos. En el suelo de planicie no se observó un efecto significativo en la biomasa ni en la producción de grano de la planta de maíz. En el suelo de terraza, los valores más altos de follaje se obtuvieron con la aplicación de FLL1 (6.09 Mg ha^{-1}) y FLL2 (5.85 Mg ha^{-1}) con relación al CA (2.55 Mg ha^{-1}) y la producción de grano aumentó en los tratamientos con FLL1 (6.87 Mg ha^{-1}), FLL2 (6.26) y C-FLL1 (6.67 Mg ha^{-1}) en comparación con el CA (2.46 Mg ha^{-1}). En el suelo de planicie, el porcentaje de proteína cruda del grano fue más alto con la aplicación de C (9.13%) con relación al C+ (6.09%). En el suelo de terraza no se encontró una respuesta significativa en el porcentaje de proteína cruda del grano con ninguno de los tratamientos de fertilización. Los resultados sugieren la importancia de la aplicación combinada de FLL y C por su efecto favorable en el contenido de carbono microbiano y de P del suelo así como en la producción de grano de las plantas de maíz.

Palabras clave: carbono microbiano; composta; fertilizantes de liberación lenta; maíz; producción de grano.

ABSTRACT

A decrease in soil fertility may be found in agro-ecosystems due to nutrient removal resulting from soil cultivation and/or soil loss. This deterioration may be rectified through the use of chemical and organic fertilizers. In this study, the effects of seven fertilization treatments were evaluated. The evaluated treatments were as follows: an absolute control (CA) that received no fertilization; a positive control (C+) that received diamonic phosphate (18-46-00) + ammonium sulphate (20-00-00) + urea (46-00-00); an experimental sample that received Bokashi compost (C); an experimental sample that received slow release fertilizer 1 (FLL1) (Multigro 6, 21-14-10, NPK) + urea; an experimental sample that received a second slow release fertilizer (FLL2) (Multigro 3, 24-05-14, NPK) + super triple phosphate; an experimental sample that received C + FLL1; and a final experimental sample that received C + FLL2. All tests were performed during the Spring-Summer cycle of 2009. Certain physical, chemical, and biological properties of the soil were established, as well as the growth, yield, and grain crude protein of the corn grown in the treated soil. Evaluation was carried out under climatic conditions in the Mixteca Oaxaqueña mountain range of the Mexican state of Oaxaca. The evaluations were performed on flat soil with a clay loam texture and brown color, as well as on terraced soil with a clay loam texture and a yellowish red color. Throughout the study, the evaluated fertilization treatments were found to have no significant effect on the hydrostable aggregates in either of the soils tested. Apparent density decreased only with FLL1 (1.03 Mg m^{-3}) with respect to C+ (1.09 Mg m^{-3}) in the flat soil. The pH of the flat soil decreased with the FLL2 (8.12), FLL1 (8.29), and C (8.35) treatments with respect to CA (8.48), although FLL2 was the only treatment which produced a lower value than that of C+ (8.44). In the terraced soil, the pH of samples treated with FLL2 (8.03) and C-FLL1 (8.07) decreased with respect to C+ (8.30) and CA (8.33). No significant effect was found on the N-total content of exchangeable Mg^{2+} and K^{+} in any of the fertilization treatments, in either of the two tested soils. There was no significant response in the organic carbon content of the flat soil. In the terraced soil, the highest values for this variable were produced with FLL1 (1.07%) and FLL2

(1.13%) with relation to C+ (0.79%). The available P content in the flat soil was found to be highest with the FLL2 treatment (57.32 mg kg⁻¹) with respect to CA (6.44 mg kg⁻¹) and C+ (17.80 mg kg⁻¹). In the terraced soil, the highest content of this nutrient was produced with C-FLL2 (46.14 mg kg⁻¹) with respect to CA (8.84 mg kg⁻¹) and C+ (38.05 mg kg⁻¹). The exchangeable Ca²⁺ content was positively affected only in the flat soil with the application of compost (25.47 cmol_c kg⁻¹) with reference to the absolute control (22.07 cmol_c kg⁻¹). Cation exchange capacity decreased in the flat soil with FLL1, C-FLL1 and C-FLL2 with respect to C+. In the terraced soil, cation exchange capacity increased with C (34 cmol_c kg⁻¹), FLL1 (33.67 cmol_c kg⁻¹), FLL2 (34.68 cmol_c kg⁻¹), and C-FLL2 (33.08 cmol_c kg⁻¹) with reference to CA (26.97 cmol_c kg⁻¹). Microbial carbon content in the flat soil increased with FLL1 (1919.48 µg g⁻¹), C-FLL1 (1379.88 µg g⁻¹), C-FLL2 (1493.29 µg g⁻¹) and C (1457.93 µg g⁻¹) with respect to C+ (1315.11 µg g⁻¹). In the terraced soil, the only microbial carbon content values higher than CA (984.08 µg g⁻¹) were produced with treatment C (1607.00 µg g⁻¹). In both soil types, corn plant diameter increased with respect to the absolute control with the application of Multigro 6, Multigro 3, and the combination of both of these with compost. Plant height was not affected by any of the fertilization treatments in either of the soils. In the flat soil, no significant effect was observed on the biomass or grain production of the corn plants. In the terraced soil, the highest foliage values were produced with the application of FLL1 (6.09 Mg ha⁻¹) and FLL2 (5.85 Mg ha⁻¹) with respect to CA (2.55 Mg ha⁻¹). Grain production increased with the FLL1 (6.87 Mg ha⁻¹), FLL2 (6.26), and C-FLL1 (6.67 Mg ha⁻¹) treatments, with respect to CA (2.46 Mg ha⁻¹). In the flat soil, the grain crude protein percentage was highest with the application of C (9.13%) with respect to C+ (6.09%). In the terraced soil, no significant response was found in the percentage of grain crude protein for any fertilization treatment. The results suggest the importance of a combined application employing FLL and C for their favorable effect on microbial carbon content and soil P content, as well as on the grain production of the corn plants.

Keywords: microbial carbon; compost; slow-release fertilizers; corn; grain production.

AGRADECIMIENTOS

La culminación del presente trabajo, es gracias a la contribución y apoyo de diferentes elementos, a quienes agradezco profundamente.

Al IPN, CIIDIR-Oaxaca, por darme la oportunidad de cursar la maestría.

Al CONACYT por su valioso apoyo para realizar los estudios de maestría.

A la Dra. Martha Angélica Bautista Cruz, por su gran contribución y dedicación en mi formación.

Al Dr. Celerino Robles Pérez, por su apoyo y constante disposición.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por sus consejos y motivación.

Y a todos los que de alguna forma contribuyeron con el presente trabajo.

CONTENIDO.

Resumen

Abstract

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1.1. Objetivo general..... | 12 |
| 1.2. Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.3. Hipótesis..... | 12 |
| 2. MATERIALES Y METODOS..... | 13 |
| 2.1.Descripción del sitio de estudio..... | 13 |
| 2.2. Diseño experimental..... | 14 |
| 2.3.Establecimiento del experimento..... | 15 |
| 2.4. Muestreo, toma de datos y análisis de suelo..... | 16 |
| 2.5. Análisis estadísticos..... | 18 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 18 |
| 3.1.Propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos..... | 18 |
| 3.1.1. Propiedades físicas del suelo..... | 18 |
| 3.1.2. Propiedades químicas del suelo..... | 19 |
| 3.1.3. Propiedades biológicas del suelo..... | 23 |
| 3.2.Crecimiento y rendimiento de las plantas de maíz, y proteína cruda en grano..... | 24 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 27 |
| 5. LITERATURA CITADA..... | 29 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Tratamientos de fertilización aplicados en dos tipos de suelo cultivados con maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Santa María Chachoapam, Nochixtlán, Oaxaca..... | 14 |
| Cuadro 2. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos antes de establecer el experimento..... | 15 |
| Cuadro 3. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre algunas propiedades físicas en dos tipos de suelo cultivados con maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca. | 19 |
| Cuadro 4. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre algunas propiedades químicas en dos tipos de suelos cultivados con maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca..... | 22 |
| Cuadro 5. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre el Carbono Microbiano de dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca, ciclo primavera verano 2009..... | 23 |
| Cuadro 6. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre el diámetro y altura de plantas de maíz a los 45 y 110 días después de la siembra en dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca. | 25 |
| Cuadro 7. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre la producción de biomasa de plantas y nitrógeno total en grano de maíz en dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca, ciclo primavera verano 2009..... | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| | |
|--------------------------------|----|
| Figura 1. Área de estudio..... | 13 |
|--------------------------------|----|

1. INTRODUCCIÓN.

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Fageria, 2002). El factor más importante de la disminución en la fertilidad del suelo es la remoción de nutrientes ya sea por los productos cosechados y/o a través del incremento en la pérdida de suelo que ocurre en mayor grado en los agroecosistemas en comparación con los ecosistemas naturales (Altieri, 1999). Es necesario restituir al suelo los nutrientes removidos por la cosecha ya sea naturalmente; mediante el intemperismo y los ciclos biogeoquímicos, o a través del uso de fertilizantes químicos y orgánicos (Restrepo, 2010). Una opción con alto potencial para contribuir a tal fin es el empleo de prácticas agroecológicas que mantengan e incrementen la fertilidad del suelo (Damiani, 2003) desde el punto de vista físico, químico y biológico (Martínez *et al.*, 2008) y que al mismo tiempo aseguren la estabilidad de los ecosistemas y agroecosistemas a través del tiempo (Damiani, 2003). El uso de abonos orgánicos se ha recomendado en suelos sometidos a cultivo intenso con el fin de mejorar la calidad edáfica (Dimas *et al.*, 2001). Los abonos orgánicos proporcionan compuestos orgánicos y nitrogenados, calcio potasio, magnesio, fósforo y otros minerales, así como poblaciones microbianas, ofreciendo una mejora en las características físicas y químicas del suelo (Albán *et al.*, 2002). Los fertilizantes de liberación lenta se caracterizan porque no liberan 100% de los nutrientes disponibles al momento de la aplicación, la liberación de éstos varía según el producto y depende de los niveles de humedad, de temperatura y/o actividad microbiana del suelo (Rose *et al.*, 2004). Además, este tipo de fertilizantes contribuye a disminuir las pérdidas de nutrientes y tienen un menor efecto salinizante, lo que se traduce en un ahorro de trabajo, tiempo y energía (Carrasco, 1999). La combinación de abonos orgánicos y fertilizantes minerales ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, porque el fertilizante orgánico mejora las propiedades del suelo y los fertilizantes minerales proveen los nutrientes que las plantas necesitan (FAO, 2002).

1.1. Objetivo general

- Evaluar la aplicación individual o combinada de fertilizantes minerales de liberación lenta (Multigro 3 y Multigro 6) y fertilizante orgánico (composta bocashi) en dos tipos de suelo en la mixteca Oaxaqueña, con la finalidad de determinar su efecto en algunas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como en algunas variables de la planta de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de temporal.

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización orgánico y mineral sobre algunas propiedades físicas de suelos (densidad aparente y estabilidad de agregados) cultivados con maíz.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización orgánico y mineral sobre algunas propiedades químicas de suelo (pH, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N, capacidad de intercambio catiónico, fósforo aprovechable, potasio, calcio, magnesio intercambiables) cultivados con maíz.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización orgánico y mineral sobre el carbono microbiano en suelos cultivados con maíz.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización orgánico y mineral sobre crecimiento (altura y diámetro), rendimiento (biomasa y grano) de plantas de maíz, así como proteína cruda en grano.

1.3. Hipótesis.

La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales (liberación lenta) afecta a corto plazo algunas características físicas, químicas y biológicas en suelos cultivados con maíz en un ciclo de producción, así como en el crecimiento, rendimiento y proteína cruda en grano de la planta.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1. Descripción del sitio de estudio.

El estudio se realizó en la comunidad de Santa María Chachoapam, Distrito de Nochixtlán, Oaxaca ($17^{\circ} 31' N$ y $97^{\circ} 17' O$) (Figura 1), a una altitud de 2095 msnm, con clima templado, temperatura media anual entre 12 y $18^{\circ} C$, 400 mm de lluvia promedio anual, un riesgo de heladas en los meses de diciembre, enero y febrero (TFO, 2010). Los suelos de esta localidad se caracterizan por un tipo de rocas calizas limolitas, andesitas y aluviones; predominan los Feozem, Luvisol y Cambisol calcáricos (INEGI, 2005).

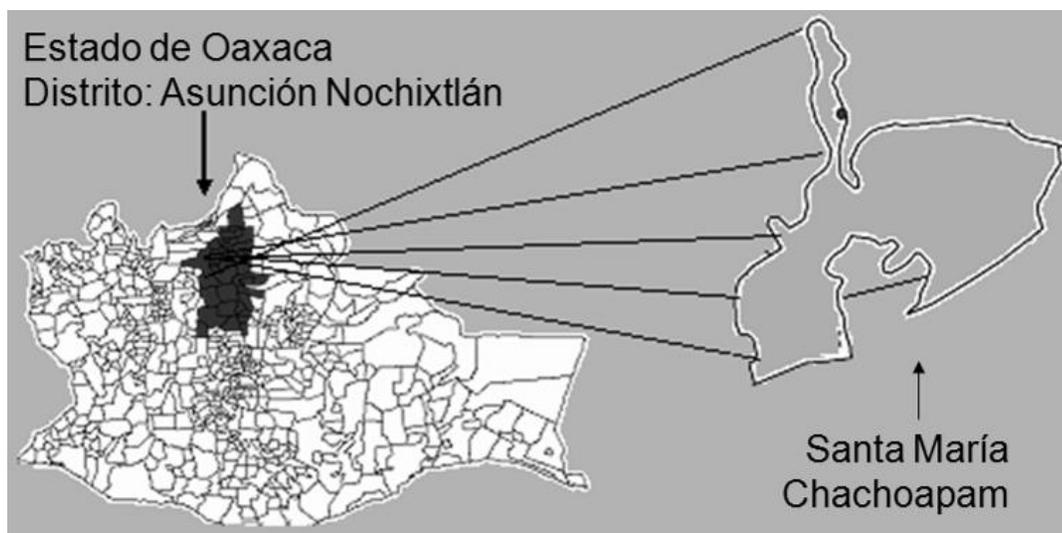


Figura 1. Área de estudio.

2.2. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con 7 tratamientos (Cuadro 1) y 4 repeticiones, la unidad experimental fue una parcela de $22.4 m^2$, con tres surcos útiles y dos para efecto orilla, con una longitud por surco de 7 m, con 140 plantas por parcela (distancia de 80 cm entre surcos y 25 cm entre plantas). Se utilizó el modelo lineal general como modelo estadístico (MLG).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización aplicados en dos tipos de suelo cultivados con maíz (*Zea mays* L.) en Santa María Chachoapam, Nochixtlán, Oaxaca.

| Tratamientos | Características de los tratamientos. |
|------------------|--|
| T1 CA | (control absoluto o sin fertilización) |
| T2 C+ | (control positivo o fertilización convencional) (90-46) requerimiento de la zona (INIFAP 2008) Fosfato diamonico (18-46-00) 100 kg ha ⁻¹ Sulfato de amonio (20-00-00) 125 kg ha ⁻¹ Urea (46-00-00) 100 kg ha ⁻¹ |
| T3 C | Composta bocashi, 10 Mg ha ⁻¹ , bocashi a base de abono vacuno, rastrojo de trigo, piloncillo, carbón, cenizas y suelo |
| T4 FLL1 | FLL-1; 328.57 kg ha ⁻¹ + urea 45.65 kg ha ⁻¹ |
| T5 FLL2 | FLL-2; 375 kg ha ⁻¹ + Super fosfato triple 59.78 kg ha ⁻¹ |
| T6 C-FLL1 | Composta mas FLL1, Mg ha ⁻¹ + 328.57 kg ha ⁻¹ + urea 45.65 kg ha ⁻¹ |
| T7 C-FLL2 | Composta mas FLL2, 4 Mg ha ⁻¹ + 375 kg ha ⁻¹ + Super fosfato triple 59.78 kg ha ⁻¹ |

FLL1= fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK), FLL2= fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 de NPK); C, bocashi (pH=8.4; 6.25% de carbono orgánico, 364.5 mg kg⁻¹ de P, 0.703% de N total, 6.96 cmol_c kg⁻¹ de K y 16 cmol_c kg⁻¹ de Ca) (Altamirano, 2008).

2.3. Establecimiento del experimento.

El experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2009, en dos tipos de suelo: S1 (suelo de planicie, franco arcilloso, color marrón) y S2 (suelo de terraza, franco arcilloso, color rojo amarillento) (Cuadro 2).

Antes de establecer el experimento a través del método de zig-zag se obtuvo una muestra compuesta de cada tipo de suelo, a una profundidad de 30 cm. Las muestras se llevaron al laboratorio para su análisis físico, químico y biológico. Algunas propiedades de la fertilidad de los suelos se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos antes de establecer el experimento.

| Propiedad analizada | Suelo S1 | Suelo S2 |
|---|-------------------|----------------------------|
| Color (húmedo) | Marrón (10YR 6/3) | Rojo amarillento (5YR 6/3) |
| Textura Bouyoucos | Franco arcilloso | Franco arcilloso |
| Arena (%) | 35 | 25 |
| Limo (%) | 26 | 35 |
| Arcilla (%) | 39 | 40 |
| Agregados hidroestables 1.0 mm (%) | 3.11 | 1.39 |
| Agregados hidroestables 0.7mm (%) | 1.88 | 0.95 |
| Agregados hidroestables 0.5mm (%) | 3.55 | 1.77 |
| Da (método de la probeta) (Mg m ⁻³) | 1.02 | 1.16 |
| pH (1:2 suelo, agua) | 8.25 | 8.50 |
| CO (Walkey y Black) (%) | 1.37 | 0.41 |
| N total (Kjeldhal) (%) | 0.11 | 0.03 |
| P (Olsen) (mg Kg ⁻¹) | 7.04 | 10.76 |
| K ⁺ (NH ₄ OAc pH 7.0) (cmol _c kg ⁻¹) | 0.35 | 0.23 |
| Ca ⁺² (NH ₄ OAc pH 7.0) (cmol _c kg ⁻¹) | 22.45 | 21.25 |
| Mg ⁺² (NH ₄ OAc pH 7.0) (cmol _c kg ⁻¹) | 4.85 | 3.95 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 28.35 | 21.68 |
| Carbono microbiano (µg g ⁻¹) | 1315.11 | 986.33 |

S1, suelo de planicie; S2 suelo de terraza; CO, carbono orgánico; Da, densidad aparente; CIC, capacidad de intercambio catiónico.

La preparación del terreno se hizo de manera convencional (mecanizada) con un barbecho en el mes de marzo y un rastreo 15 días previo a la siembra, la cual se realizó el 15 de junio de 2009 a una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹, se utilizó semilla variedad “Leopardo” (hibrido precoz), pre tratada con el producto comercial Furadán®, para control de gallina ciega. Esta variedad es un maíz precoz, de mazorcas uniformes, con alto rendimiento, de hoja semirecta con tallos y raíces resistentes al acame.

La aplicación de los tratamientos se realizó a los 8 días post emergencia a 5 cm alrededor del tallo de cada planta y a 15 cm de profundidad. A los 40 días se aplicó

herbicida Gramoxone® y Babel® para combatir las malezas. La cosecha se realizó el 15 de diciembre de 2009. La precipitación pluvial a través del ciclo de producción fue de 614 mm en S1 y 552 mm en S2.

2.4. Muestreo, análisis de suelo y toma de datos

Análisis de suelo.

Al término del ciclo de cultivo (8 de diciembre de 2009) se colectó una muestra compuesta de suelo por cada tratamiento, a una profundidad de 30 cm. Las muestras colectadas se secaron a la sombra por 72 h, posteriormente se molieron con un mazo de madera y se tamizaron con una malla de 2 mm de abertura. Finalmente, se homogeneizaron por el método de cuarteo y se almacenaron en bolsas de plástico para su análisis.

Los agregados hidroestables (AH) se determinaron por el método de tamizado en húmedo (Kemper y Rosenau 1986, modificado por Bethlenfalvay y Barea 1994), se utilizó un conjunto de tamices con aberturas de 1mm, 0.7 mm y 0.5 mm. La densidad aparente (D_a) se determinó por el método de la probeta.

Los análisis químicos del suelo se hicieron de acuerdo con la metodología propuesta por la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000): El pH se determinó en H_2O (relación 1:2), utilizando un medidor digital de pH marca Orión, el carbono orgánico (CO) se analizó mediante oxidación húmeda con $K_2Cr_2O_7$ en medio ácido de acuerdo con Walkley y Black (1934). El N-total se cuantificó por el método Kjeldhal (Bremner y Mulvaney, 1982). El P disponible se determinó mediante extracción con $NaHCO_3$ 0.5 M a pH 8.5 (Olsen *et al.*, 1954). El Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} intercambiables se extrajeron con una solución de acetato de amonio 1N a pH 7.0. El Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiables se cuantificaron por el método de Versenato. El K^+ se cuantificó por flamometría. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó mediante la técnica de acetato de amonio que consiste en la saturación de la superficie de intercambio con el ion amonio, lavado del exceso de saturante con alcohol, desplazamiento del catión índice con Na y determinación del amonio mediante destilación.

El carbono microbiano se determinó por el método de fumigación-incubación (Jenkinson y Powlson, 1976). Una muestra de 25 g de suelo a capacidad de campo se fumigó con cloroformo libre de etanol durante 24 h. Después de la fumigación, las muestras de suelo se incubaron a 25°C en recipientes de acrílico por 10 días en presencia de NaOH para absorber el CO₂ liberado del suelo. Al mismo tiempo una muestra de suelo no fumigado se incubó bajo las mismas condiciones. La producción de CO₂ se determinó por titulación del NaOH que permaneció en el sistema con HCl. Finalmente, el carbono microbiano se calculó como la diferencia entre el C extractable en las muestras fumigadas con cloroformo y en las no fumigadas (Voroney *et al.*, 1993; Horwath y Paul, 1994).

Durante los análisis de suelo, 10% de las muestras se duplicaron al azar para verificar la reproducibilidad de los resultados.

Altura y diámetro de tallo.

Estas variables se evaluaron en la fase temprana de crecimiento vegetativo de la planta de maíz (45 días después de la siembra, dds) y a la madurez fisiológica (110 dds) se seleccionaron al azar en los surcos útiles 10 plantas a las que se les midió el diámetro y la altura, con ayuda de un vernier digital y una cinta métrica, respectivamente.

Biomasa del cultivo y contenido proteínico del grano.

En la etapa de madurez fisiológica se cortaron las 10 plantas seleccionadas, de cada planta se separó el grano, la raíz y el follaje. El material vegetal se secó en una estufa de aire forzado a 50 °C hasta peso constante, a excepción del grano que se secó a 70 °C igualmente hasta peso constante. El contenido de nitrógeno total (N-total) del grano se obtuvo a partir del grano molido y tamizado a 2mm, posteriormente el N-total se multiplicó por el factor proteínico de 6.25 para obtener el porcentaje de proteína cruda (%PC).

2.5. Análisis estadísticos.

Con los datos que se obtuvieron se realizó un análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental empleado, se utilizó un nivel de significancia de 5%. Cuando hubo diferencia significativa por efecto de los tratamientos, se realizó una prueba de separación múltiple de medias, utilizando la Diferencia Significativa Honesta de Tukey para decidir cuál fue el mejor tratamiento. En todos los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

3.1.1. Propiedades físicas del suelo.

Los tratamientos de fertilización evaluados no tuvieron un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre el contenido de AH en ninguno de los dos suelos (Cuadro 3). Aunque el contenido de AH fue más alto en S1 que en S2 (Cuadro 3), tal vez debido a un mayor contenido de CO en S1 antes del establecimiento del experimento (Cuadro 1). Al respecto, Bronic y Lal (2005) indicaron que el CO del suelo incrementa la agregación en ambientes áridos y semiáridos. Acuña *et al.* (2005) mencionaron que los elementos que suelen aumentar la estabilidad estructural de los agregados, son los cationes polivalentes como el Ca^{+2} y el Mg^{2+} .

La Da disminuyó significativamente con FLL1 respecto al C+ en S1 (Cuadro 3). En S2 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos con respecto a esta variable (Cuadro 3). Baver y Black (1992) observaron que al adicionar CO al suelo disminuyó la Da. Similarmente, Flores y Manzanares (2002) encontraron que la adición de composta (5, 10 y 15 ton ha^{-1}) combinada con fertilizantes minerales (64 kg ha^{-1} de fosfato diamónico) disminuyó la Da del suelo conforme aumentó la dosis de composta. La materia orgánica (MO) disminuye la Da del suelo por tener una menor densidad que el material mineral, contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua (Peña *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre algunas propiedades físicas en dos tipos de suelo cultivados con maíz (*Zea mays* L.) en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca.

| Tratamiento | AH (%) | | | Da (Mg m ⁻³) |
|------------------------|--------|--------|--------|--------------------------|
| | 1 mm | 0.7 mm | 0.5 mm | |
| S1 (suelo de planicie) | | | | |
| CA | 3.30 a | 3.47 a | 5.90 a | 1.07 ab |
| C+ | 4.43 a | 3.69 a | 5.73 a | 1.09 a |
| C | 4.91 a | 3.60 a | 6.21 a | 1.05 ab |
| FLL1 | 3.21 a | 2.05 a | 3.80 a | 1.03 b |
| FLL2 | 4.97 a | 3.45 a | 5.88 a | 1.08 ab |
| C-FLL1 | 2.71 a | 2.33 a | 4.08 a | 1.05 ab |
| C-FLL2 | 3.39 a | 3.12 a | 3.78 a | 1.06 ab |
| S2 (suelo de terraza) | | | | |
| CA | 0.54 a | 0,54 a | 1.19 a | 1.09 a |
| C+ | 1.20 a | 1.20 a | 1.74 a | 1.07 a |
| C | 1.49 a | 1.49 a | 2.52 a | 1.04 a |
| FLL1 | 2.04 a | 2.04 a | 2.19 a | 1.05 a |
| FLL2 | 1.13 a | 1.13 a | 1.98 a | 1.09 a |
| C-FLL1 | 1.69 a | 1.69 a | 2.69 a | 1.05 a |
| C-FLL2 | 1.82 a | 1.82 a | 2.20 a | 1.05 a |

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \alpha 0.05$); CA, sin fertilización; C+, control positivo; C, composta; FLL1, fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK); FLL2, fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 de NPK); AH, agregados hidroestables; Da, densidad aparente.

3.1.2. Propiedades químicas del suelo.

El pH en S1 fue significativamente más bajo con FLL2 respecto a C+ (Cuadro 4). El pH del suelo en los tratamientos con C, FLL1 y FLL2, también mostraron un pH significativamente más bajo respecto al CA. En S2, el pH con la aplicación de FLL2, C-FLL1 fue significativamente menor al CA y al C+. Bulluck *et al.* (2002) y Millaleo *et al.* (2006) encontraron resultados similares al comparar el efecto de la fertilización orgánica y mineral, observaron que a corto plazo los fertilizantes orgánicos tienden a disminuir el pH del suelo. El material vegetal de la composta provoca un aumento inicial de pH asociado a la formación de NH_4^+ , proceso que consume protones, la posterior nitrificación de NH_4^+ en NO_3^- resulta en una disminución del pH debido a la liberación de protones en la solución del suelo. Aunado a esto, la MO tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

En contraste, Tambone *et al.* (2007) encontraron que el pH del suelo incrementó con la adición de composta, probablemente debido al valor de pH (8.8) de la composta. Covalada *et al.* (2009) reportaron un incremento en el pH del suelo (0.3 unidades) con la adición de abonos orgánicos, a través de 3 años de manejo. Estos autores atribuyeron el incremento en el pH del suelo a las cenizas presentes en el abono orgánico. En suelos con elevado pH, los fertilizantes formadores de acidez, como el sulfato amónico, nitrato amónico y sulfato amónico, corrigen la alcalinidad FAO (2002).

El contenido de N-total no mostró un efecto significativo con los tratamientos de fertilización evaluados en ninguno de los dos suelos ($p > 0.05$) (Cuadro 4), posiblemente debido a que la planta de maíz demandó todo el N suministrado con los diferentes tratamientos, si se considera que el requerimiento de N de la planta de maíz es de 20-25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producida (Torres, 2002). En otros trabajos se ha reportado que la adición de composta (40 Mg ha⁻¹) incrementó el contenido de N en suelos cultivados con maíz (Tambone *et al.*, 2007).

Los tratamientos de fertilización no tuvieron un efecto significativo ($p > 0.05$) en el contenido de CO en S1 (Cuadro 4). En S2 el contenido significativamente más alto de CO se obtuvo con FLL1 y FLL2 con respecto al C+, el cual presentó los valores más bajos de CO (Cuadro 4). En este estudio solo se aplicaron 10 Mg ha⁻¹ y 4 Mg ha⁻¹ de composta, lo que probablemente influyó para que no se encontrara un efecto significativo de la composta sobre el contenido de N en ninguno de los dos suelos estudiados, ni de CO en S1.

En S1 la relación C/N fue significativamente más baja en los tratamientos con FLL2 con relación al C+. En S2 la relación C/N significativamente más alta se encontró con FLL1 respecto al CA y C+. Los tratamientos con FLL2 también tuvieron una elevada relación C/N con relación al C+ (Cuadro 4). La adición de composta no afectó la relación C/N en ninguno de los dos tipos de suelo. Similarmente, Tambone *et al.* (2007) reportaron que al aplicar composta en dosis de (50 Mg ha⁻¹ y 85 Mg ha⁻¹) la relación C/N del suelo no se vio afectada a los 140 días post fertilización.

El contenido de P disponible en S1 fue significativamente más alto con FLL2 respecto al CA y al C+ (Cuadro 4). Los tratamientos con C, FLL1, C-FLL1, C-FLL2 también mostraron un contenido de P disponible significativamente mayor con relación

al CA. En S2, el contenido de P en C-FLL2, FLL2, FLL1 y C-FLL1 fue significativamente diferente con referencia a CA y C+. Aunque el contenido de este nutriente fue significativamente mayor solo con C-FLL2 respecto a CA y C+. El alto contenido de P encontrado con la aplicación de FLL2 se puede atribuir a la fuente de P aplicada como complemento (súper fosfato triple). El incremento en el contenido de P en los tratamientos que recibieron composta probablemente se debe a que los abonos orgánicos proporcionan nutrientes como P, Ca, K y Mg, entre otros (Albán *et al.*, 2002).

Covaleda *et al.* (2009) también mostraron que la concentración de P disponible en suelo mejoró con la aplicación de fertilizantes fosfatados (7.4 mg P kg^{-1}). Dimas *et al.* (2001) encontraron que al adicionar composta (20 Mg ha^{-1} , 30 Mg ha^{-1} y 40 Mg ha^{-1}) en suelos alcalinos el contenido de P incrementó significativamente. Por otra parte, Tambone *et al.* (2007) reportaron que con la adición de 50 Mg ha^{-1} y 85 Mg ha^{-1} de composta, el P disponible del suelo incrementó de manera mas notable con las dosis más altas de composta.

La concentración de Mg^{2+} y K^+ intercambiables no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos en ninguno de los dos tipos de suelo (Cuadro 4). Similares resultados observaron Tambone *et al.* (2007) al adicionar 50 Mg ha^{-1} de composta a cultivos de maíz. Estos autores encontraron incrementos de K^+ solamente con aplicaciones de 80 Mg ha^{-1} . Igualmente Covaleda *et al.* (2009) reportaron que el K^+ mostro un incremento significativo con la adición de abonos orgánicos en suelos de tepetate, en un lapso de 4 años. En cambio, el contenido de Mg^{2+} y Ca^{2+} permaneció constante durante todo este tiempo.

El contenido de Ca^{2+} en S1 fue significativamente mayor en los tratamientos con C con referencia al CA (Cuadro 4). En S2 no hubo diferencias significativas respecto al contenido de Ca^{2+} con ninguno de los tratamientos de fertilización aplicados. Igualmente Tambone *et al.* (2007) encontraron un incremento en el contenido de Ca^{2+} en el suelo al adicionar composta.

La CIC en S1 fue menor significativamente con FLL1, C-FLL1, C-FLL2 respecto a C+ (Cuadro 4). En S2, la CIC aumentó con C, FLL1, FLL2, C-FLL2 con referencia a CA (Cuadro 4). Tambone *et al.* (2007) también encontraron que con la adición de composta al suelo (50 y 85 ton ha^{-1}) la CIC incrementó.

Cuadro 4. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre algunas propiedades químicas en dos tipos de suelos cultivados con maíz (*Zea mays* L.) en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca.

| Tratamiento | pH | N-total (%) | CO (%) | C/N | P (mg kg ⁻¹) | Cationes | | | | |
|------------------------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------------------------|--|------------------|----------------|-----------|--|
| | | | | | | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | CIC | |
| | | | | | | (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| S1 (suelo de planicie) | | | | | | | | | | |
| CA | 8.48 a | 0.17 a | 1.71 a | 10.56 ab | 6.44 c | 22.07 b | 3.59 a | 0.33 a | 35.33 bc | |
| C+ | 8.44 ab | 0.16 a | 1.98 a | 12.36 a | 17.80 b | 25.05 ab | 4.86 a | 0.38 a | 42.51 a | |
| C | 8.35 bc | 0.17 a | 1.80 a | 10.64 ab | 19.86 b | 25.47 a | 4.04 a | 0.38 a | 36.56 abc | |
| FLL1 | 8.29 b | 0.17 a | 1.84 a | 10.66 ab | 20.53 b | 24.45 ab | 3.71 a | 0.37 a | 33.41 bc | |
| FLL2 | 8.12 c | 0.18 a | 1.78 a | 10.15 b | 57.32 a | 24.53 ab | 4.25 a | 0.38 a | 37.16 ab | |
| C-FLL1 | 8.38 abc | 0.17 a | 1.86 a | 11.07 ab | 17.79 b | 24.26 ab | 3.69 a | 0.37 a | 30.10 c | |
| C-FLL2 | 8.47 a | 0.18 a | 1.90 a | 10.64 ab | 22.84 b | 24.31 ab | 3.76 a | 0.36 a | 33.72 bc | |
| S2 (suelo de terraza) | | | | | | | | | | |
| CA | 8.33 a | 0.07 a | 0.96 ab | 12.98 bc | 8.845 e | 22.02 a | 2.69 a | 0.19 a | 26.97 b | |
| C+ | 8.30 a | 0.07 a | 0.79 b | 12.74 c | 38.06 b | 22.57 a | 3.25 a | 0.26 a | 29.71 ab | |
| C | 8.13 abc | 0.08 a | 0.96 ab | 13.34 bc | 11.85 de | 21.83 a | 3.29 a | 0.24 a | 34.00 a | |
| FLL1 | 8.13 abc | 0.06 a | 1.07 a | 20.28 a | 26.53 c | 22.68 a | 2.80 a | 0.25 a | 33.67 a | |
| FLL2 | 8.03 c | 0.06 a | 1.13 a | 18.10 ab | 28.97 c | 22.13 a | 2.89 a | 0.21 a | 34.68 a | |
| C-FLL1 | 8.07 bc | 0.07 a | 0.96 ab | 14.19 bc | 17.56 d | 21.45 a | 3.41 a | 0.26 a | 26.75 b | |
| C-FLL2 | 8.24 ab | 0.07 a | 1.05 ab | 15.92 abc | 46.14 a | 23.09 a | 2.43 a | 0.27 a | 33.08 a | |

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \alpha = 0.05$). CA, sin fertilización; C+, Control Positivo; C, composta; FLL1, fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK); FLL2, fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 NPK); N, nitrógeno total; CO, carbono orgánico; CIC, capacidad de intercambio catiónico.

3.1.3. Propiedades biológicas del suelo.

En S1 el contenido de carbono microbiano (Cmic) fue significativamente más alto con FLL1 con relación al CA y al C+ (Cuadro 5). Igualmente los suelos que recibieron C-FLL1, C-FLL2 y C mostraron un contenido de Cmic significativamente más alto respecto al C+. En S2, el tratamiento con C tuvo el contenido de Cmic significativamente más alto con relación al CA (Cuadro 5). Arrieche-Luna y Ruiz-Danger (2010) observaron que en suelos alcalinos cultivados con maíz, el Cmic incrementó con la adición de composta a partir de dosis de 3 Mg ha⁻¹, los suelos enmendados de forma órgano-mineral (160 kg N ha⁻¹+ 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 80 kg K₂O ha⁻¹+ 2Mg ha⁻¹ de composta) obtuvieron el valor más alto. Por su parte Díaz *et al.* (2005) al incorporar estiércol de ovino (4.3 Mg ha⁻¹), rastrojo de maíz (4 Mg ha⁻¹) y residuos de frijol (1 Mg ha⁻¹) observaron que el Cmic del suelo incrementó. Existe evidencia de que la aplicación de fertilizantes minerales en particular N y aplicaciones de abonos orgánicos en dosis crecientes aumentan la materia orgánica del suelo y la biomasa microbiana (Arrieche-Luna y Ruiz-Danger, 2010). Por su parte Acuña *et al* (2006), sugiere que la disponibilidad de nutrientes asimilables y particularmente la de sustratos carbonados metabolizables (materia orgánica lábil), limitan la actividad microbiana, por lo que la aplicación de residuos orgánicos a los suelos incrementa la actividad microbiana (Arrieche-Luna y Ruiz-Danger, 2010).

Cuadro 5. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre el Carbono Microbiano de dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca, ciclo primavera verano 2009.

| Tratamientos | Carbono microbiano (µg g ⁻¹) | | | |
|--------------|--|---|-----------------------|----|
| | S1 (Suelo de planicie) | | S2 (Suelo de terraza) | |
| CA | 1315.11 | b | 984.08 | bc |
| C+ | 453.59 | c | 1578.52 | a |
| C | 1457.93 | b | 1607.00 | a |
| FLL1 | 1919.48 | a | 717.097 | cd |
| FLL2 | 404.54 | c | 1038.76 | b |
| C-FLL1 | 1379.88 | b | 541.705 | d |
| C-FLL2 | 1493.29 | b | 172.158 | e |

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, Tukey (p α = 0.05). CA, sin fertilización; C+, Control Positivo; C, composta; FLL1, fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK); FLL2, fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 NPK).

3.2. Crecimiento y rendimiento de las plantas de maíz y proteína cruda en grano.

En S1, el diámetro de las plantas de maíz disminuyó significativamente con la aplicación de C y de C-FLL2 con relación al C+ al momento de la madurez fisiológica de la planta (Cuadro 6). En cambio, esta misma variable fue favorablemente afectada por los tratamientos FLL1, FLL2, C-FLL1 y C-FLL2 con respecto al CA (Cuadro 6). En S2, también se observó una disminución en el diámetro de la planta al momento de la madurez fisiológica en los tratamientos que recibieron C con referencia al C+. En contraste, los tratamientos FLL1, FLL2, C-FLL1 aumentaron significativamente el diámetro de la planta de maíz con respecto al CA. Betancourt *et al.* (1998) afirmaron que las plantas de maíz que reciben aplicaciones de N (80 kg ha⁻¹) presentan un mayor crecimiento sobre las plantas que no reciben ninguna aplicación. Estos resultados sugieren la necesidad de nutrientes y principalmente de N que tiene el maíz, y que no puede ser satisfecha con los aportes del suelo (Fotanetto y Keller, 2006).

La altura de la planta no se vio significativamente afectada por ninguno de los tratamientos de fertilización evaluados en ambos suelos. Contrario a este resultado, Matheus (2004) obtuvo con fertilizante químico convencional (159-90-90 de NPK) las plantas de maíz con mayor altura, seguido por la mezcla (fertilizante químico + 2 Mg ha⁻¹ de composta) y con la dosis más alta de composta (8 Mg ha⁻¹). Makinde (2007) evaluó el efecto de la fertilización órgano-mineral en el crecimiento de plantas de maíz a las 8 semanas de germinación y encontró las plantas más altas con una aplicación base de MO de 3 ton ha⁻¹, la altura de la planta incrementó al aumentar la cantidad de MO. Varnero *et al.* (1998) sugirieron que la dosis umbral para obtener una respuesta productiva del suelo está en torno a las 30 Mg ha⁻¹ de composta.

Cuadro 6. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre el diámetro y altura de plantas de maíz a los 45 y 110 días después de la siembra en dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca.

| Tratamiento | Diámetro (cm) | | Altura de la planta (cm) | |
|------------------------|---------------|----------|--------------------------|----------|
| | 45 dds | 110 dds | 45 dds | 110 dds |
| S1 (suelo de planicie) | | | | |
| CA | 1.65 b | 2.08 d | 18.46 b | 137.99 a |
| C+ | 2.52 a | 2.61 a | 26.66 a | 149.58 a |
| C | 1.69 b | 2.11 cd | 20.85 ab | 135.01 a |
| FLL 1 | 2.13 ab | 2.48 ab | 22.70 ab | 140.20 a |
| FLL 2 | 2.35 a | 2.45 ab | 24.99 ab | 147.38 a |
| C-FLL1 | 2.08 ab | 2.46 ab | 22.27 ab | 143.35 a |
| C-FLL2 | 2.14 ab | 2.35 bc | 22.48 ab | 138.60 a |
| S2 (suelo de terraza) | | | | |
| CA | 1.78 a | 1.91 bc | 24.65 a | 136.31 a |
| C+ | 2.07 a | 2.22 ab | 29.25 a | 144.44 a |
| C | 1.85 a | 1.85 c | 29.15 a | 133.23 a |
| FLL 1 | 2.17 a | 2.25 a | 30.98 a | 147.35 a |
| FLL 2 | 2.06 a | 2.26 a | 30.54 a | 160.45 a |
| C-FLL1 | 2.22 a | 2.24 a | 33.40 a | 142.73 a |
| C-FLL2 | 2.07 a | 2.16 abc | 28.90 a | 148.60 a |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey ($p \alpha = 0.05$); CA, control absoluto o sin fertilización; C+, control positivo o fertilización convencional; C, composta; FLL1, fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK); FLL2, fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 de NPK); dds, días después de la siembra.

En S1 los tratamientos de fertilización evaluados no tuvieron un efecto significativo ($p > 0.05$) en la biomasa (follaje y raíces) de la planta de maíz (Cuadro 7). En S2, los valores significativamente más altos de follaje se obtuvieron con la aplicación de FLL1 y FLL2 con relación al CA (Cuadro 7). En cuanto a raíces no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Estudios previos han mostrado que los efectos de la fertilización mineral y órgano-mineral en la producción de biomasa de plantas de maíz se manifestaron en el primer año de producción. Sin embargo, el efecto de los fertilizantes orgánicos se manifestó hasta el segundo año (Gondek y Filipek-Mazur, 2005).

En S1, la producción de grano no mostró diferencias significativas con los diferentes tratamientos de fertilización empleados (Cuadro 7). En S2, los tratamientos FLL1, FLL2 y C-FLL1 mostraron una producción de grano

significativamente mayor al CA (Cuadro 7). El efecto del resto de los tratamientos sobre esta variable fue estadísticamente igual al obtenido con el C+.

En S1, el porcentaje de PC del grano fue significativamente más alto con el tratamiento C con relación al C+. Tambone *et al.* (2007) también encontraron un porcentaje más alto de N en grano de maíz en suelos que recibieron composta. En S2, no se encontró una respuesta significativa en el porcentaje de PC del grano con ninguno de los tratamientos de fertilización aplicados.

Cuadro 7. Efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre la producción de biomasa de plantas y nitrógeno total en grano de maíz en dos tipos de suelo en el Valle de Nochixtlán, Oaxaca, ciclo primavera verano 2009.

| Tratamiento | Biomasa (Mg ha ⁻¹) | | Grano (Mg ha ⁻¹) | N-total en grano (%) | PC (%) |
|------------------------|--------------------------------|--------|------------------------------|----------------------|--------|
| | Follaje | Raíces | | | |
| S1 (suelo de planicie) | | | | | |
| CA | 4.92 a | 0.79 a | 6.72 a | 1.31 a | 8.78 a |
| C+ | 6.94 a | 0.80 a | 9.81 a | 0.98 b | 6.09 b |
| C | 6.94 a | 0.74 a | 8.29 a | 1.46 a | 9.13 a |
| FLL1 | 6.99 a | 0.80 a | 7.31 a | 1.20 a | 7.50 a |
| FLL2 | 8.29 a | 1.03 a | 8.94 a | 1.49 a | 9.31 a |
| C-FLL1 | 9.50 a | 1.08 a | 7.86 a | 1.37 a | 8.56 a |
| CFLL2 | 7.37 a | 0.78 a | 7.87 a | 1.25 a | 8.01 a |
| S2 (suelo de terraza) | | | | | |
| CA | 2.55 b | 0.44 a | 2.46 b | 1.05 a | 6.55 a |
| C+ | 5.74 a | 0.56 a | 6.38 a | 1.01 a | 6.29 a |
| C | 4.07 ab | 0.83 a | 3.68 ab | 1.12 a | 7.01 a |
| FLL1 | 6.09 a | 0.92 a | 6.87 a | 1.31 a | 8.23 a |
| FLL2 | 5.85 a | 0.85 a | 6.26 a | 1.09 a | 6.83 a |
| C-FLL1 | 5.64 ab | 0.89 a | 6.67 a | 0.95 a | 5.97 a |
| CFLL2 | 4.42 ab | 0.70 a | 5.21 ab | 0.96 a | 5.98 a |

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \alpha = 0.05$), CA, control absoluto o sin fertilización; C+, control positivo o fertilización convencional; C, composta; FLL1, fertilizante de liberación lenta 1 (Multigro 6, 21-14-10 de NPK); FLL2, fertilizante de liberación lenta 2 (Multigro 3, 24-05-14 de NPK).

4. CONCLUSIONES.

- Durante el tiempo que duró el estudio, los tratamientos de fertilización evaluados no tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de agregados hidroestables en ninguno de los dos suelos. La densidad aparente disminuyó únicamente con Multigro 6 respecto al control positivo en el suelo de planicie.
- En suelo de planicie, la aplicación de composta, fertilizantes Multigro 6 y Multigro 3 propiciaron una disminución en el pH del suelo. En suelo de terraza igualmente el fertilizante Multigro 3 afectó el pH del suelo, además del Multigro 6 combinado con la composta respecto al control absoluto.
- El contenido de N-total, de Mg^{2+} y de K^+ intercambiables no mostró un efecto significativo con los tratamientos de fertilización evaluados en ninguno de los dos suelos.
- Los fertilizantes empleados no tuvieron un efecto significativo en el contenido de carbono orgánico en el suelo de planicie. En el suelo de terraza, el contenido más alto de esta variable se obtuvo con Multigro 6 y Multigro 3 con relación al control positivo.
- El contenido de P disponible en el suelo de planicie fue más alto con Multigro 3 respecto al control absoluto y al control positivo. En el suelo de terraza, el contenido de este nutriente fue mayor solamente con composta-Multigro 3 respecto al control absoluto y al control positivo.
- El contenido de Ca^{2+} intercambiable fue afectado positivamente solo en el suelo de planicie con la aplicación de composta con referencia al control absoluto.
- La capacidad de intercambio catiónico en el suelo de planicie disminuyó con Multigro 6, composta-Multigro 6 y composta-Multigro 3 respecto al control positivo. En el suelo de terraza, la capacidad de intercambio catiónico aumentó con composta, Multigro 6, Multigro 3, composta-Multigro 3 con referencia al control absoluto.
- El carbono microbiano en suelo de planicie incrementó con los fertilizantes, Multigro 6 solo y combinado con la composta, Multigro 3 con la composta, así como la composta sola en relación al control positivo. En el suelo de terraza, la

aplicación de composta sola mostró los valores más altos respecto al control absoluto.

- En ambos suelos, el diámetro de las plantas de maíz incrementó con la aplicación de Multigro 6, Multigro 3 y la mezcla de éstos con la composta con relación al control absoluto.
- La altura de la planta de maíz no se vio significativamente afectada por ninguno de los tratamientos de fertilización evaluados en ambos suelos.
- En el suelo de planicie los tratamientos de fertilización no tuvieron un efecto significativo en la biomasa ni en la producción de grano de la planta de maíz. En el suelo de terraza, los valores más altos de follaje se obtuvieron con la aplicación de Multigro 6 y Multigro 3 con relación al control absoluto y la producción de grano aumentó con Multigro 6, Multigro 3 y composta-Multigro 6 en comparación con el control absoluto.
- En el suelo de planicie, el porcentaje de proteína cruda del grano fue más alto con la aplicación de composta con relación al control positivo. En el suelo de terraza no se encontró una respuesta significativa en el porcentaje de proteína cruda del grano con ninguno de los tratamientos de fertilización aplicados.

5. LITERATURA CITADA.

- Acuña, J.F., Barahona, E., Williams, S. y L. 2005. Seminario, "Dependencia de la estabilidad estructural de un suelo calcáreo en relación a la presencia de algunas especies químicas". *Ciencia Ahora* 16: 111-115.
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J. y Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelo. XVII Reunión de Cooperación Internacional de la Asociación para la Investigación del Banano en el Caribe y América Tropical. De 15 a 20 de octubre de 2006. Joinville-Santa Catarina-Brasil.
- Albán, D. A., Marín, R. V. y Vásquez, A. V. 2002. Proyecto empresarial de producción de humus de lombriz en la provincia de Guayas. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas (ICHE), Economía y Gestión Empresarial. P. 11. Disponible en: <http://200.126.0.101/bitstream/123456789/205/1/D-31033.pdf>.
- Altamirano, L. C. M. 2008. Evaluación de las características físico-químicas y biológicas de abonos orgánicos y su efecto en la producción de lechuga (*Lactuca Sativa*). Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Tesis de licenciatura. P. 102.
- Altieri, M. A., 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Edit. Nordan-Comunidad. Avda. Millán 4113, 12900 Montevideo, ISBN 9974-42-052-0, Pp. 15-315.
- Arrieché-Luna, E. y Ruiz-Danger, M. 2010. Influence of organic and inorganic fertilization on microbial biomass carbón and maize yield in two soils of contrasting pH. *Agrociencia* 44: 249-260.
- Baver, A. y Black, L. 1992. Organic carbon effects on available water capacity on three soil textural groups. *Soil. Sci. Am. J.* 56: 248-254.
- Betancourt, Y. P., Gonzáles, R. J., Figueroa, S. B. y Gonzáles, C. F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de Maiz. *Terra* 16 (3): 231-237.
- Bethlenfalvay, G. J. y Barea, J. M. 1994. Micorrhizae in sustainable agriculture. Effects on seed yield and soil aggregation. *Am. J. Altern. Agric.* 9:157-161.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. In : Page, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Wisconsin, pp. 595 – 624.
- Bronick, C.J. y Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Bulluck, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K. y Ristaino, J.B., 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.* 19:147-160.
- Carrasco, M. I. 1999. Nuevas tecnologías en fertilización para el respeto del medio ambiente. *Agroinformacion.com*. P. 15.
- Covaleda, S., Pajares, S., Gallardo, J. F., Padilla, J., Baez, A. y Etchevers, B. J. 2009. Effect of different agricultural management systems on chemical

fertility in cultivated tepetates of the Mexican transvolcanic belt. *Agriculture Ecosystems and Environment* 129: 422–427.

- Damiani, O. 2003. La adopción de la agricultura orgánica por parte de los pequeños agricultores de América Latina y el Caribe. In 8 (12-17): *Memoria del Taller Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Turrialba Costa Rica Costa Rica.
- Dimas J. L. M., Díaz A. E., Martínez, E. R. y Valdez C. R. D. 2001. Effect of Organic Fertilizers on Physical-Chemical Soil Properties and Corn Yield. *Terra* 19(4):293-298.
- FAO, 2002. Los fertilizantes y su uso. FAO, Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. Roma, ISBN 92-5-304414-4.
- Fageria, N. K. 2002. Soil quality vs environmentally based agricultura management practices. *Commun. Soil. Plant Anal.* 33 (13 and 14): 2301-2329.
- Flores, A., Izquierdo, M. y Manzanares, P. 2002 Efecto de la combinación de abonos orgánicos y fertilizantes químicos sobre la densidad aparente y el espacio poroso total de un suelo volcánico nicaragüense. *Rev. La calera*.
- Fontanetto, H. y Keller, O. 2006. Manejo de la fertilización en maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. *INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea Nº 106 (86)*.
- Horwath, W.R., y Paul, E.A. 1994. Microbial biomass. *Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties*. SSSA Book Ser. No. 5. SSSA, Madison, WI. p. 753–773.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Carta Edafológica: México. Escala 1:1 000000.
- INIFAP, 2008, Paquete tecnológico para la producción de Maíz temporal en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Inifap. Mixteca, Santo Domingo Yanhuitlán, Nochixtlán, Oaxaca.
- Jenkinson, D. y Powlson, D. 1976. Effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8:209-213.
- Jenkinson, D. y Ladd, J. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *Soil Biol. Biochem.* 5:415-471.
- Gondek, K. y Filipek-Mazur, P. 2005. The effects of mineral treatment and the amendment by organic and organomineral fertilizers on the crop yield, plant nutrient status and soil properties. *Plant Soil Environ* 51 (1): 34-45.
- Makinde, E.A. 2007. Effects of an organo–mineral fertilizer application on the growth and yield of maize. Federal College of Agriculture. P.M.B.5029, Ibadan, Nigeria. *Sciences Research*, 3(10): 1152-1155
- Martínez, H. E., Fuentes, E. J. P. y Acevedo, H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades de suelo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura.
- Matheus, J. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). 2004. *Bioagro*. [online]. vol.16, no.3 [citado 12 Noviembre 2010], p.219-224. Disponible en World WideWeb: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script>

=sci_arttext&pid=S13163612004000300009& Ing=es&nrm=iso>. ISSN 1316-3361.

- Millaleo, M., Montecinos, C., Rubio, H. R., Contreras N. A. y Borie, B. F. 2006. Efecto de la adición de compost sobre propagulos micorrizicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. R. C. Suelo Nutr. Veg. 6 (3): 26-39.
- NOM-021-RECNAT-2000. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Diario Oficial. Segunda sección (1): 1-50
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S.D.A. Circ., Washington DC, pp. 939 – 940.
- Peña, T. E., Ramírez. C. M.; Martínez. F.; Rodríguez. N. A. y Companioni, C. N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. La Habana Cuba. INIFAT, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PUND): 6-60
- Restrepo, A.J.G. 2010. El suelo como base de los agroecosistemas sostenibles.. <http://abyayalacolectivo.com/web/compartir/noticia/el-suelo-como-base-de-los-agroecosistemas-sostenibles---juan-guillermo-restrepo-arango>.
- Rose, R. Haase, L. D. y Arellano, E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: Potencial para mejorar la productividad de la reforestación. BOSQUE (valdivia) 25(2): 89-100.
- Tambone, F. Genevini, P. y Adani, F. 2007. The effects of short-Term Compost Application On Soil Chemical Proprieties and on Nutritional Status of Maize Plant. Rev. Compost Science and Utilization. 15(3): 176-183.
- Transparencia Fiscal de Oaxaca (TFO). 2010. Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable: Santa María Chachoapam, Nochixtlán, Oaxaca. Disponible en http://transparencia.finanzasoxaca.gob.mx/pdf/marco/Regionales/mixteca/404_santa_maria_chachoapan.pdf
- Torres, D. M. 2002. Fertilización Nitrogenada del Cultivo de Maíz. *Proyecto Fertilizar EEA INT Pergamino*. mtorresduggan@pergamino.inta.gov.ar. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp>.
- Varnero, M. T., Benavides, C. y Uribe, J.M. 1998. Mejoramiento de la capacidad productiva del suelo mediante acondicionamiento con abonos orgánicos. XVI Congreso mundial de la ciencia del suelo. Montpellier, Francia. Agosto 1998.
- Walkley, A., Black, J.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.