

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO



**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOSTAS SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE FRIJOL”**

Martha Delia Ocegueda Reyes

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Mayo de 2007.

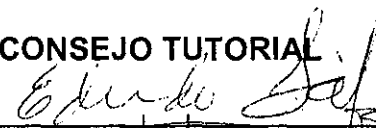





UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO



Esta tesis titulada "EFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOSTAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRIJOL" de Martha Delia Ocegueda Reyes, fue realizada bajo la supervisión y dirección del consejo tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

CONSEJO TUTORIAL

| | |
|----------|---|
| DIRECTOR |  DR. EDUARDO LÓPEZ ALCOCER |
| ASESOR |  DR. ROGELIO LÉPIZ ILDEFONSO |
| ASESOR |  DR. FERNANDO LÓPEZ ALCOCER |
| ASESOR |  DR. DIEGO R. GONZÁLEZ EGUIARTE |
| ASESOR |  MC. RICARDO NUÑO ROMERO |
| ASESOR |  MC. PATRICIA ZARAZÚA VILLASEÑOR |

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por concederme la serenidad, la fortaleza y el coraje de vencer todos los obstáculos y contratiempos que se presentaron en mí camino.

A la Universidad de Guadalajara:

Con la que estoy eternamente agradecida y en deuda con ella, en la cual he permanecido tanto tiempo bajo su techo adquiriendo sus conocimientos.

Al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias:

Por haberme brindado la oportunidad para realizarme académicamente y profesionalmente como Bióloga. Y por haberme otorgado una beca con la cual me fue posible realizar mis estudios de postgrado.

Al Posgrado de Ciencias Agrícolas y Forestales:

Por darme la oportunidad de superarme en los estudios y en mi vida profesional, en la opción de Ciencias Agrícolas y Forestales.

A mis maestros:

Por brindarme el apoyo, dedicación y compartirme sus conocimientos y experiencias adquiridas en su vida profesional.

Al Dr. Eduardo López Alcocer, por la amistad, apoyo y confianza que siempre me brindó.

Al Dr. Rogelio Lépiz Ildfonso, por su valioso apoyo y dedicación para la conclusión del presente trabajo.

Al Dr. Diego Raymundo González Eguiarte, por su gran apoyo, comprensión y confianza que me brindó en la realización de este trabajo.

Al MC. Ricardo Nuño Romero, por compartirme su conocimiento.

Al Dr. Fernando López Alcocer, por su amistad.

A la MC. Patricia Zarazúa Villaseñor, mi agradecimiento.

A la MC. J. Leticia Fragoso F.; T. Lab. Liliana Moreno M. y QFB. Ofelia Guevara P. del laboratorio del Agrología, por su apoyo en la realización de los análisis químicos.

Al MC. Martín Tena Meza por la gran confianza y amistad que siempre me ha manifestado.

A la MC. América Loza Llamas, por su apoyo, amistad y por estar pendiente en la solución de mis problemas que se me presentaron durante mis estudios.

Al Dr. Pedro Sánchez Peña por su gran apoyo incondicional y por su atención.

A la Dra. Guadalupe Sánchez Peña, mi agradecimiento por su orientación, amistad incondicional.

A todos los maestros amigos, por su gran soporte moral que siempre me manifestaron.

A los alumnos que me apoyaron en el trabajo de investigación.

A Laurita Peña por su cariño para conmigo y mis hijos.

A mis amigos, por todo el apoyo moral, económico, atenciones y sobre todo por su paciencia que siempre tuvieron para conmigo. Muchas gracias a cada uno de ustedes, por ese cariño y amor en los momentos difíciles de mi vida.

A ti por haberme tenido paciencia y por ayudarme a recuperar la seguridad en mi misma, porque fuiste parte de mi transformación, siempre tendrás un lugar especial en mi corazón

DEDICATORIA

A mi hermano Juan Antonio, por el apoyo tan grande y amor hacía mi hijo Essiel, a quien le estaré eternamente agradecida por ser el papá en el momento crucial de su vida, te quiero.

A mis hijos Essiel Fernando, Josué Uriel y Sinúe Azrael, por su amor, cariño, comprensión, paciencia y apoyo, a quienes pido perdón por el tiempo que no estuve con ustedes, los amos.

A mis padres por darme la existencia. A mi padre por su comprensión, amor y haberme dado el apoyo moral en el momento justo a mí y a mis hijos.

A mis hermanos por su comprensión, apoyo y cariño.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

RESUMEN

| | Página |
|---|--------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivo General | 2 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 2 |
| 1.3 Hipótesis | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Factores que afectan la fertilidad del suelo | 3 |
| 2.2 Productividad del suelo | 4 |
| 2.3 Importancia de la materia orgánica | 5 |
| 2.4 El Compostaje | 8 |
| 2.5 La composta | 9 |
| 2.6 Propiedades de la composta | 10 |
| 2.6.1 Efecto de la aplicación de la composta sobre las características físicas del suelo | 12 |
| 2.7 Microorganismos presentes en las compostas | 13 |
| 2.8 Cultivo de frijol | 13 |
| 2.9 Respuesta de frijol a las aplicaciones de abonos orgánicos y Fertilizantes | 15 |

| | |
|---|----|
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 4.1 Ubicación del área experimental | 16 |
| 4.2 Clima | 16 |
| 4.3 Suelo | 16 |
| 4.4 Variedad de frijol | 16 |
| 4.5 Descripción del trabajo experimental | 17 |
| 4.5.1 Tratamientos | 17 |
| 4.5.2 Diseño experimental | 17 |
| 4.5.3 Siembra y manejo agronómico del ensayo | 18 |
| 4.5.4 Variables de estudio | 18 |
| 4.5.4.1 Variables químicas | 18 |
| 4.5.4.2 Variables físicas | 19 |
| 4.5.4.3 Variables microbiológicas | 19 |
| 4.5.4.4 Variables evaluadas en la planta de frijol | 19 |
| 4.5.4.5 Trabajo de laboratorio | 20 |
| 4.6 Materiales utilizados | 20 |
| 4.7 Materiales utilizados en el laboratorio | 21 |
| 4.8 Equipo utilizado | 21 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 22 |
| 5.1 Efecto de la aplicación de los tratamientos sobre variables físicas del suelo | 22 |
| 5.2 Efecto de los tratamientos sobre las variables químicas del suelo | 23 |
| 5.2.1 Materia orgánica (MO) | 23 |
| 5.2.2 pH de los tratamientos en el suelo | 24 |
| 5.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | 25 |
| 5.2.4 Nitrógeno nítrico (NO ₃) | 26 |
| 5.2.5 Efectos de los tratamientos sobre Nitrógeno amoniacal | 26 |

| | |
|--|----|
| (NH ₄ ⁺), Fósforo disponible (P) y Potasio disponible (K) | |
| 5.2.6 Calcio disponible (Ca) | 27 |
| 5.2.7 Calcio intercambiable (Ca) | 27 |
| 5.2.8 Magnesio disponible (Mg) | 28 |
| 5.2.9 Magnesio intercambiable (Mg) | 29 |
| 5.2.10 Relación C/N | 30 |
| 5.2.11 Conductividad eléctrica (C.E.) | 30 |
| 5.3 Efecto de los tratamientos sobre la población microbiana | 31 |
| 5.4 Efecto de los tratamientos sobre algunas variables de la planta de frijol | 34 |
| 5.4.1 Longitud de parte aérea | 35 |
| 4.5.2 Número de nódulos | 36 |
| 4.5.3. Variable número de vainas por planta | 36 |
| 4.5.4. Variable peso de grano | 37 |
| VI. CONCLUSIONES | 39 |
| VII. BIBLIOGRAFIA | 41 |
| VIII. APÉNDICE | 50 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | | Pagina |
|---------------|--|---------------|
| 1 | Relación y descripción de tratamientos utilizados en el estudio. | 17 |
| 2 | Variables químicas cuantificadas en el suelo | 19 |
| 3 | Resultados de los análisis de varianza para las variables actinomicetos, bacterias y hongos | 31 |
| 4 | Prueba de separación de promedios para la variable número de unidades formadoras de colonias de actinomicetos (UFC x 10 ⁻⁵). | 33 |
| 5 | Prueba de separación de promedios para la variable número de unidades formadoras de colonias de bacterias (UFC x 10 ⁻⁸). | 34 |
| 6 | Resultado de los análisis de varianza de las variables registradas en la planta. | 35 |
| 7 | Resultados de la prueba de separación de promedios en la variable nodulación. | 36 |
| 8 | Resultados de la prueba de separación de promedios para la variable peso de grano | 38 |
| 9 | Análisis de Varianza los microorganismos presentes en el suelo | 50 |
| 10 | Análisis de Varianza de las variables vegetativas de la planta de frijol | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Pagina |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Efecto de los tratamientos sobre la capacidad de absorción de agua en el suelo. | 22 |
| 2 | Efecto de los tratamientos sobre la densidad aparente del suelo. | 23 |
| 3 | Efecto de los tratamientos sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. | 24 |
| 4 | Efecto de los tratamientos sobre el pH de del suelo | 25 |
| 5 | Efecto de los tratamientos sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo. | 25 |
| 6 | Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Nitrógeno nítrico en el suelo. | 26 |
| 7 | Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Calcio disponible en el suelo. | 27 |
| 8 | Efecto de los tratamientos sobre contenido de de Calcio intercambiable en el suelo. | 28 |
| 9 | Efecto de los tratamientos sobre contenido de Magnesio disponible en el suelo | 29 |
| 10 | Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Magnesio intercambiable en el suelo | 29 |
| 11 | Efecto de los tratamientos sobre la relación C/N en el suelo | 30 |
| 12 | Efecto de los tratamientos sobre la Conductividad Eléctrica del suelo | 31 |
| 13 | Coefficiente de correlación entre la variable de Magnesio y Longitud de parte aérea de la planta de frijol. | 35 |
| 14 | Coefficiente de correlación de las variables número de vaina y peso de grano. | 37 |

ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE

| Cuadro | | Pagina |
|---------------|---|---------------|
| 9 | Análisis de Varianza los microorganismos presentes en los tratamientos. | 50 |
| 10 | Análisis de Varianza de las variables vegetativas. | 51 |

RESUMEN

El presente trabajo se realizó durante 2005 en el campo experimental, invernadero y Laboratorio de Agromicrobiología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. El objetivo fue determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas como tratamientos al suelo: Tratamiento 1 (composta Bocashi), tratamiento 2 (composta de frijol), tratamiento 3 (composta frijol-maíz), tratamiento 4 (composta maíz), tratamiento 5 (vermiabono), tratamiento 6 (fertilizantes) y tratamiento 7 (suelo sin aplicación), sobre algunas características físicas, químicas y microbiológicas del suelo y a la vez evaluar el efecto de estos materiales sobre el crecimiento de la planta de frijol, bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron dos variables físicas del suelo, 10 variables químicas, la población de hongos, bacterias y actinomicetos y siete variables en la planta de frijol. Se encontraron efectos de la aplicación de compostas al suelo, sobre las variables físicas, con una tendencia a mejorar la capacidad de absorción de agua y a reducir la densidad aparente. No hubo efecto significativo de las aplicaciones de composta, sobre las variables químicas de suelo (MO, pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg, C/N y CE) y se encontró efecto significativo sobre la población de actinomicetos y bacterias. Las compostas a base de frijol mostraron efecto positivo sobre las poblaciones de actinomicetos y bacterias. La planta de frijol en las variables de nodulación y peso de grano, mostró respuesta significativa a los tratamientos a base de compostas. Los resultados en este trabajo sugieren que para producir un mayor efecto en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, se requiere de la aplicación periódica de mayores volúmenes de abonos orgánicos. Los resultados obtenidos sugieren que la aplicación de compostas puede disminuir o sustituir la aplicación de fertilizante químico en la producción de grano en el cultivo de frijol.

I. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción agrícola denominados "agricultura convencional o moderna" se ha generalizado el uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas), con especial énfasis en las últimas cuatro décadas, periodo en el que se han registrado notables cambios en la tecnología de producción e incrementos sustanciales en los niveles de productividad del suelo. Sin embargo, a partir de la década de los 70's empezaron a manifestarse fuertes problemas ambientales por la degradación de los recursos naturales (López, *et al.*, 2001; López, *et al.*, 2004). Este problema ha sido particularmente importante en el recurso suelo, donde es evidente el fenómeno de desertización, el que se caracteriza por la pérdida de la vegetación nativa, altos niveles de erosión, disminución del contenido de humedad, de materia orgánica y de la actividad microbiana, así como el incremento de la acidez o salinidad, problemas que en menor o mayor grado inducen la pérdida de la fertilidad del propio suelo (Alexander, 1977; Velásquez, 1997).

Una de las principales alternativas que se han propuesto para revertir el inicio o avance de la desertización, es la recuperación y/o conservación del contenido de materia orgánica en el suelo, factor importante en su formación y en el propio funcionamiento de los ecosistemas (Labrador, 1996; Calderón, *et al.*, 2004; López, *et al.*, 2004).

Una de las formas más simple para la incorporación de la materia orgánica a los suelos agrícolas, es a través de la aplicación de abonos orgánicos ya sea en forma de abonos verdes, composta, vermiabono, etc., dando así elementos para la rehabilitación del propio suelo y aporte de elementos nutrimentales para el desarrollo y producción de los cultivos (Avilés y Tello, 2001; Labrador, 1996).

Considerado la problemática señalada en los sistemas de producción agrícola con uso intensivo de agroquímicos, que han tenido un impacto en la fertilidad de los suelos en la región de Zapopan, se planteó la realización del presente trabajo, con los objetivos e hipótesis que se presentan a continuación.

1.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas al suelo sobre algunas características físicas, químicas y biológicas del mismo y sobre el desarrollo la planta de frijol bajo condiciones de invernadero.

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas sobre algunas características físicas del suelo.
2. Determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas sobre algunas características químicas del suelo.
3. Determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas sobre las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos.
4. Determinar el efecto de la aplicación de diferentes compostas sobre la planta de frijol.

1.3 Hipótesis

1. La aplicación de abonos orgánicos al suelo influye sobre las características físicas, químicas y biológicas del mismo.
2. La aplicación de abonos orgánicos al suelo favorecen el desarrollo y producción en el cultivo de frijol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Factores que afectan la fertilidad del suelo

La humanidad requiere de superficie agrícola para satisfacer la demanda de alimentos. Sin embargo, la degradación del suelo por el proceso que afecta su fertilidad, es una de las mayores amenazas para la sostenibilidad de la agricultura. Se ha calculado que las 0.4 hectáreas agrícolas disponibles por persona en los años setenta se redujeron a 0.25 ha/personas en el año 2000 y que la superficie cultivable pasará de 1.5 millones de hectáreas en 1975 a 1 millón en el año 2025, es decir quedará reducida a dos terceras partes (Kremlin, 1986).

El suelo, además de ser un soporte y fuente de nutrientes de las plantas, es también el hábitat de una amplia variedad de microorganismos entre los que se incluyen bacterias, hongos y actinomicetos. La actividad y diversidad de la microbiota es un factor clave en la fertilidad del suelo (Kennedy, 1995), y la diversidad microbiana es esencial para garantizar los ciclos de los nutrientes y el fenómeno* de descomposición de la materia vegetal (Barea y Olivares, 1998).

La rizosfera es el volumen limitado del suelo que rodea a las raíces y que resulta afectada por el desarrollo de estas, lo que produce la estimulación y proliferación de los microorganismos del suelo. El suministro de compuestos orgánicos a la rizosfera es de entre 50 a 100 mg de materia orgánica por gramo de raíz (Barea y Olivarez, 1998).

Limitar el uso de productos químicos para el control de las plagas, es el objetivo de la investigación, la cual se orienta en la actualidad hacia el desarrollo de métodos biológicos para reducir los peligros de contaminación ambiental y el efecto negativo sobre la biología del suelo (Kremlin, 1986).

La temperatura, la humedad y la atmósfera del suelo se ven alterados principalmente por el laboreo, la incorporación al suelo de productos químicos, (Guzmán, 2000). Entre ellos destacan los fungicidas y desinfectantes del suelo, ya

que alteran enormemente el balance microbiológico del suelo, al provocar esterilización parcial en la que los microorganismos benéficos y la fertilidad quedan dañados durante largos períodos. Los insecticidas también tienen un efecto tóxico sobre la fauna edáfica, los herbicidas pueden suprimir la actividad de algunos microorganismos, particularmente de las bacterias responsables de la oxidación del amonio y la fijación del nitrógeno, no obstante su mayor efecto es indirecto debido a la pérdida de cobertura y de materia orgánica que ocasiona (Guzmán, 2000).

En la agricultura convencional o moderna, el uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, fungicidas, entre otros) ocasiona contaminación al suelo y pérdida de su fertilidad, representando una amenaza para la vida por su alto grado de toxicidad.

Ante el riesgo de degradar más los recursos naturales, y garantizar la producción de alimentos, es necesario buscar alternativas para hacer producir la tierra y que sea sostenible la producción a largo plazo sin el peligro de destruir el ambiente. Por lo que la manera para conservar los suelos es mediante el compostaje (Avilés y Tello, 2001). A la técnica de producción utilizando la composta como fuente de nutrimentos para los cultivos, se le denomina agricultura orgánica, la cual está orientada a la conservación y al mejoramiento de la fertilidad del suelo (Queitsch, 2005).

2.2 Productividad del suelo

La productividad del suelo es la capacidad para producir un cultivo en una superficie determinada, por lo que la base para el sostenimiento y/o incremento de dicha productividad es el nivel de fertilidad del propio suelo.

Un suelo fértil tiene una estructura y profundidad adecuada para proporcionar un ambiente favorable para el desarrollo de la planta, y si el suelo es rico en materia orgánica con buena estructura, esto permite que las raíces penetren mejor. El suelo no es materia muerta, sino un cuerpo en constante transformación. Estas transformaciones son físicas, químicas y biológicas; ocurren

en la capa superficial hasta una profundidad de aproximadamente 25 cm y provocan un cambio en las propiedades del suelo y en las cantidades de nutrientes disponibles para la planta. Estas cantidades se determinan por medio de análisis del suelo, que serán la base para las recomendaciones acerca de las necesidades de la aplicación de nutrientes (Dalzell, 1991; Graetz, 2000).

El conocimiento del suelo y su importancia en la nutrición de las plantas, nos obliga a conocer su capacidad para mantener cierto tipo de vegetación o producción de cosechas, que depende no solamente de la capacidad de suministrar nutrimentos, sino también de las relaciones de aire y agua, lo que hacen posible el uso más eficiente de los nutrimentos asimilables por las plantas (León, 1991).

Torres, *et al.* 2002, en su trabajo de investigación evaluó la dinámica del Nitrógeno provenientes de residuos orgánicos de sorgos (*Sorghum bicolor* L. Moench y *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*)) marcados con ¹⁵Nitrógeno; observó presencia de nódulos (*Rhizobium*) y aumento de nitrógeno total, en los dos tipos de suelos. Por lo que recomendó incorporación de restos vegetales de sorgo para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo.

Reyes, *et al.* (1995), aplicó composta de champiñones, como abono a plantas de aguacate y el resultado fue un incremento de 10% en la producción de fruta, expresada en kilogramos por árbol, con un manejo orgánico.

Triano, *et al.* (2005), menciona que la alternativa de manejo que permite recuperar las condiciones de fertilidad, es la aplicación de materia orgánica, cuya función primordial es la de mantener y aumentar el potencial de microorganismos habitantes del suelo con el fin de mejorar las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. Uno de los beneficios de los abonos orgánicos es que aportan muchas bacterias y elementos necesarios para las plantas. A mediano plazo, aportan fertilidad al suelo. Por lo que recomienda utilizar composta de Cachaza, ya que aporta mayor cantidad de N al suelo que la vermiabono.

2.3 Importancia de la materia orgánica

México, como otros países de trópico, se caracteriza por presentar sistemas intensivos de producción con similares impactos negativos sobre la fertilidad del suelo y el medio ambiente. El manejo adecuado de residuos animales o vegetales es de primordial importancia para lograr algunos de los objetivos de la producción sustentable agrícola (Santos, *et al.*, 2004).

La estructura del suelo es de gran importancia para la determinación de la fertilidad y a la vez considera que la materia orgánica es factor determinante en la formación de una buena estructura. En la formación del suelo y su fertilidad, las sustancias orgánicas juegan un papel importante como fuentes de nutrientes para la planta, los cuales quedan disponibles durante la mineralización. Además de esta propiedad, se reconoce que la materia orgánica es un factor importante para la formación del suelo por su efecto sobre las propiedades físicas y químicas de éste (Kononova, 1965).

Una forma de recuperar el potencial productivo del suelo, es a través de la aplicación de materia orgánica, ya sea en forma de composta, vermiabono, etc., ya que proporciona y mejora las condiciones de fertilidad, estructura, pH, mayor capacidad de retención de agua y nutrientes (Luna y Vázquez, 2003); asimismo enriquece el suelo con nutrientes y micronutrientes, hay mayor actividad biológica, reducción de la lixiviación de los nutrientes y también de plagas y enfermedades en cultivos (Queitsch, 2005).

Los principales nutrientes que proporciona la materia orgánica son: nitrógeno, fósforo y azufre. Respecto del suministro de nutrientes de parte del suelo mismo, la materia orgánica es la principal fuente abastecedora de nitrógeno que suministra energía a los microorganismos del suelo, para la actividad microbiológica, descomposición de la materia orgánica, y la formación de nódulos (*Rhizobium*) en las raíces de las leguminosas.

El nitrógeno es fácilmente soluble en agua del suelo, y alimenta a los microorganismos, favorece así la descomposición de la materia fresca, le da el color verde a la planta. Favorece el crecimiento rápido, aumenta la producción, y favorece su susceptibilidad a enfermedades.

El fósforo reacciona con otros elementos químicos del suelo, por lo cual forma componentes menos solubles. Estimula la formación y crecimiento temprano de las raíces, estimula la floración, acelera la madurez y ayuda a la formación de la semilla. Mejora la resistencia contra el efecto de las bajas temperatura en invierno.

El potasio retiene con facilidad las partículas del suelo, es menor la pérdida por lixiviación, aumenta el vigor de las plantas, y desarrolla mayor resistencia a las enfermedades. Mejora el llenado de grano y semillas, mantiene el desarrollo de raíces, tubérculos y regula el consumo de agua en las plantas.

El calcio promueve la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes. A la vez mejora la estructura del suelo y la retención de agua.

El magnesio es similar al del calcio, parcialmente soluble en agua, favorece la formación de azúcares en los cultivos.

Los micronutrientes se requieren en cantidades pequeñas, no obstante la deficiencia de uno o más de estos nutrientes puede tener influencia negativa sobre el rendimiento y desarrollo de los cultivos (Dalzell, *et al.*, 1991).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es una medida de la potencialidad del suelo para almacenar nutrientes. Las variables que controlan la CIC son: la cantidad de arcilla y el contenido de materia orgánica (Castellano, *et al.*, 2000).

Al evaluar los cambios en la actividad de la biomasa microbiana y su contenido de nitrógeno, en cuatro ciclos consecutivos del cultivo de arroz, se

encontró que el nitrógeno contenido en la biomasa microbiana en los primeros 5 cm del perfil fue mayor que en el SDR (Siembra directa sobre rastrojo) y que la combinación de rastrojos de arroz acumulados de ciclos previos y distintos grados de descomposición presentó una mayor concentración de materia orgánica en los suelos pasando de 2.24% a 4.1%, de un ciclo a otro (Quiroz, 2006).

López *et al.* 2001, evaluaron el efecto de los abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo. Utilizaron abono orgánico para producir mejor respuesta sobre rendimiento de grano en maíz, con 4 tratamientos a diferentes dosis de aplicación de composta: 20, 30 y 40 t ha⁻¹ y fertilizante. Con 20 y 30 t ha⁻¹. Observaron incrementos en los contenidos de materia orgánica, N, P y rendimiento de grano.

Arrieche (2005), aplicó 2000 kg-ha⁻¹ de residuos orgánicos (cachaza) en cultivo de maíz en el momento de siembra y evaluó su efecto sobre las características químicas en el suelo, así como las concentraciones de nutrientes foliares y el rendimiento del cultivo. La aplicación de cachaza indujo a la disminución del nivel de conductividad eléctrica (CE) e incremento en la materia orgánica. Y se observó un incremento en los niveles de K, Mg y nitrógeno, además del rendimiento del cultivo.

Eduardo *et al.* (2001), encontró que los tratamientos con estiércol y paja de maíz picado, favorecen la infiltración lenta y evitan pérdidas por evaporación. Las coberturas de estiércol y paja de maíz picada, aplicadas al cultivo del ciruelo, ayudaron a la conservación, ahorro y mejorar el aprovechamiento del agua en el suelo y al incremento de la productividad.

2.4 El Compostaje

El compostaje permite la transformación de un residuo orgánico a un abono de interés agrícola (Poincelot, 1972). EL compostaje es un proceso aeróbico controlado producido por poblaciones microbianas sucesivas, combinando actividades mesofílicas y termofílicas, con la producción de bióxido de carbono,

agua, y materia orgánica estabilizada, siendo el resultado del compostaje una fuente rica en nutrientes para las plantas y para la conservación del suelo (Nieto *et al.*, 2002).

Para Velasco (2004) el composteo es una biotecnología atractiva en diferentes escalas, bajo el enfoque de sostenibilidad en sistemas productivos que abarata los costos de procesamiento, aprovechamiento de sus residuos, y la restauración de los suelos.

El compostaje es un proceso biooxidativo de los residuos orgánicos en condiciones controladas, en el cual participan diferentes grupos microbianos (Santamaría, 1999); todos los materiales de origen orgánico se pueden descomponer por la acción de dichos microorganismos

2.5 La composta

La composta es una mezcla de materia orgánica descompuesta; es el resultado de un proceso biológico dinámico que involucra una gran cantidad de microorganismos y su calidad va a depender de: proceso de elaboración de la composta, la composición de los materiales y la maduración de la composta (Claverán, 1996).

Una composta adecuada para ser empleada como sustrato deber estar suficientemente estabilizada, o madura. El grado de descomposición de la composta deber ser suficiente, para que el medio de cultivo formulado no presente efecto adverso al crecimiento vegetal.

Cuando la composta se va a aplicar como enmienda de suelo no tiene porque estar tan estabilizada, ya que la materia orgánica puede posteriormente lograr un grado adecuado de madurez en el suelo, durante las semanas o meses que van desde su incorporación hasta la siembra. Pero cuando se va a utilizar como sustrato debe esta madura y los parámetros de estabilidad incluyen: apariencia y olor, caída final de la temperatura o grado de autocalentamiento, pH,

relación lignina/celulosa, relación de materia orgánica no humificada/humificada, ascenso del potencial rédox, consumo de oxígeno, contenido de celulosa, incremento de la CIC, relación carbono orgánico/nitrógeno orgánico en los extractos, relación carbono en azúcares reductores/carbono total, relación C/N, balances entre las formas nitrogenadas, presencia de microorganismos indicadores, efectos sobre la germinación y el crecimiento vegetal. Si una composta está muy madura puede presentar un excesivo nivel de sales y propiedades físicas no adecuadas, además de aumentar innecesariamente el tiempo para su obtención.

El nivel de descomposición de la materia orgánica también va a determinar la actividad de los fitopatógenos de los agentes de control biológico y sus interacciones, dado que determinará la capacidad de la composta para proporcionarles nutrientes (Labrador, 2001).

La composición elemental del material procesado en un compostaje depende de los tipos de materiales básicos. Sin embargo, el C y el N son esenciales para el proceso de compostaje; el carbono proporciona la fuente primaria de energía y el nitrógeno es imprescindible para el desarrollo de la población microbiana (Stoffella y Kahn, 2005).

2.6 Propiedades de la composta

La composta ayuda al suelo a mantener su fertilidad. Los microorganismos que participan en el proceso son los hongos bacterias y actinomicetos

El adecuado proceso de compostaje de los residuos orgánicos como son restos de cosecha y la determinación de la proporción óptima de aplicación del compost, mejora las características del suelo (Hoitink *et al.*, 1987). Durante el compostaje debe eliminarse las semillas de malas hierbas y de patógenos, lo cual se realiza a través de las altas temperaturas durante el proceso. (Bollen, 1993)

Uno de los abonos orgánicos que ha sido más estudiado en los últimos años, es la composta. Se ha comprobado que mejora las características del suelo como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión. Los efectos mencionados permiten mejorar los suelos agrícolas, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrimentos, capacidad de retención de agua y pH alto (FAO, 1991; Trueba, 1996).

La composta mejora las propiedades físicas (favorece la infiltración de agua, el intercambio de gases, formación de agregados, evita la formación de grietas en los suelos y aumenta la conductividad hidráulica; químicas (aceleramiento de reacciones químicas, en donde se involucra el proceso de óxido-reducción), y biológicas (incremento y actividad de microorganismos) del suelo. La materia prima con la que se elabora la composta, tiene efectos sobre la calidad de nutrimentos. Sin embargo, en el proceso de evaluación debe realizarse la caracterización de la composta para determinar calidad e inocuidad de los ingredientes (Ansorena, 1994).

Las compostas generadas en este proceso son materiales biológicamente estables que se pueden utilizar como abonos orgánicos, ya que incrementan el contenido de materia orgánica, de microorganismos (hongos, bacterias y actinomicetos) y el desarrollo de las plantas.

Gutiérrez *et al.*(2001), en su trabajo experimental evaluó la respuesta de rendimiento y nodulación en frijol. Sus resultados mostraron mayor número de vainas por planta; al aumentar los niveles de materia orgánica existe una mejor utilización de los nutrientes. En cuanto a la variable número de granos por vaina no detectó diferencia significativa, lo que le atribuyó a un mayor llenado de granos como consecuencia una menor producción de vainas

Nieto *et al.* (2002), utilizaron a las compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. Los resultados mostraron que las dosis de compostas a 50 y 100 t ha⁻¹, mejoraron las variables físicas del suelo. Estos autores encontraron mayor rendimiento en la dosis de 25 t ha⁻¹, recomendando este nivel de aplicación de composta para el cultivo de chile en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, la recomendación de aplicación de composta con fines de biorremediación del suelo agrícola de este tipo, fue de 50 t ha⁻¹.

Widman *et al.* (2005), en estudios preliminares sobre el uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en el estado de Yucatán, México, reportaron que dicha composta sirvió como mejorador del suelo. En los cultivos de frijol y tomate se presentaron mejores resultados en germinación y crecimiento de la planta, con plantas que crecieron directamente en suelos y suelos adicionados con fertilizante químico.

Reyes (1995), menciona que para implementar la agricultura orgánica el suelo deberá pasar por una fase de "desintoxicación", período de transición en que el suelo recupera su dinámica poblacional y nutrimental, estableciendo un lapso de 2 a 3 años.

2.6.1. Efecto de aplicación de la composta sobre las características físicas del suelo.

La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo y por ende sobre el crecimiento radical y el desarrollo de la planta, influye en absorción de agua y el rendimiento del cultivo.

Mora (2006), cita varios autores que coinciden con respecto a los beneficios que tiene la aplicación de compostas maduras en cuanto a la fertilidad del suelo, crecimiento de las plantas y propiedades físico-químicas de los suelos, que son inducidos por la aplicación de altos niveles de composta, lo que incrementa el contenido de materia orgánica y nutrimentos para las plantas.

2.7 Microorganismos presentes en las compostas

La composta al final del proceso de descomposición, contiene una enorme población de microorganismos, por lo que el objetivo de la aplicación de composta al suelo, es añadir vida microbiana y suministrar alimento para los microorganismos ya presentes en él. Los microorganismos, en su ataque continuo a la materia orgánica ayudan a la liberación de mucílagos. Además, los micelios o hifas de los hongos y actinomicetos se adhieren a las partículas del suelo; las partículas grandes son contenidas y agrupadas en agregados, mientras que se separan las pequeñas partículas de arcilla y limo para proporcionar canales para el movimiento del aire y del agua y el crecimiento de las raíces de las plantas (Dalzell *et al.*, 1991). Los principales tipos de microorganismos presentes en las compostas son actinomicetos, bacterias y hongos.

Los actinomicetos se desarrollan más lentamente que la mayoría de las bacterias y hongos, y son menos activos en las etapas tempranas del compostaje; son más prominentes en etapas tardías del proceso donde pueden llegar a ser abundantes. El color blanco o gris es típico de estos microorganismos; son claramente visibles a unos 100 mm por debajo de la superficie de la masa en compostaje. Aunque las bacterias están presentes en cantidades muy grandes, son de tamaño muy pequeño y constituyen menos de la mitad de la masa de los microorganismos. Algunas especies bacterianas pueden soportar calor y sequedad considerablemente formando esporas que se desarrollan cuando las condiciones mejoran. Los hongos son muy importantes en la descomposición de celulosa que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica y que puede constituir hasta el 60% de la masa total (Dalzell *et al.*, 1991).

2.8 El cultivo de frijol

El frijol es una de las leguminosas más importantes en el mundo por su amplia distribución en los cinco continentes y por ser alimento básico en la nutrición humana, principalmente en Centro y Sudamérica. México ha sido aceptado como el centro de origen o como el centro de diversificación primaria. El

cultivo de frijol era conocido desde 5,000 años A.C. y se le conoce con los nombres de Poroto, Alubia, Judia, Feijao, Habichuela, Vainilla, Caraota y Frixol.

La planta de frijol es anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, aunque no soporta heladas; se cultiva para obtener las semillas por su alto contenido de proteínas, alrededor de 22%. Las semillas pueden ser consumidas inmaduras o secas (López *et al.*, 1985).

La superficie cosechada con frijol en el mundo es cercana a 14 millones de hectáreas (Singh, 1999). En la última década, tanto la superficie como la producción se han incrementado; sin embargo, en los países en desarrollo los incrementos no han sido suficientes para satisfacer la demanda interna y los consumos aparentes *per capita* están disminuyendo; tal es el caso de México. En el pasado el incremento de la producción se debió en parte a la expansión de la superficie, pero en el futuro, los incrementos en la producción tendrán que derivarse de un mayor rendimiento por unidad de superficie.

En México el frijol ocupa el segundo lugar en importancia por la superficie sembrada. Es un cultivo tradicional que forma parte importante en la dieta del mexicano; se siembra prácticamente en todas las regiones agrícolas del país y bajo todas las condiciones de suelo y clima. En la década de los 90's se ha cosechado en México una superficie de frijol de 1.9 millones de hectáreas en promedio anual, con un rendimiento aproximado de 631 kg ha⁻¹, el cual puede considerarse bajo y factible de incrementar a corto plazo

A nivel nacional existen alrededor de 500 mil productores, de los cuales se estima que el 75 por ciento destina una parte de sus cosechas al autoconsumo y el resto a la comercialización. De esta forma, existe un sector poblacional campesino constituido por pequeños propietarios, ejidatarios, comuneros y colonos que siembran frijol y también maíz para su subsistencia (Acosta, 2000).

En Jalisco los promedios de producción son significativamente superiores a los rendimientos nacionales, con un promedio de 863 kg ha⁻¹. Para el caso del

frijol, en zonas como Centro y Sur de Jalisco, las condiciones de clima están dentro de las consideradas favorables para la producción de esta leguminosa: temperatura media entre 16 y 26 °C y una precipitación mayor a los 800 mm anuales. Variedades como Azufrado Tapatío y Alteño 2000, son resistentes a las principales enfermedades de buena adaptación y de alto valor agronómico, cultivares que pueden sembrarse con buenos resultados en el Centro de Jalisco y regiones similares (Lépiz *et al*, 2003).

2.9 Respuesta del frijol a las aplicaciones de abonos orgánicos y fertilizantes.

Alemán *et al*. (1996), recomiendan para una buena producción de frijol en los suelos de la región de Los Altos de Jalisco en siembras de temporal, aplicar 40 kg de nitrógeno y 40 kg de de fósforo por hectárea; en la región Centro de Jalisco, aplicar 50 kg de nitrógeno y 50 kg de fósforo por hectárea.

Lépiz *et al*. (2007), mencionan que el frijol responde favorablemente a una fertilización química moderada a alta y a la aplicación de abonos orgánicos o biofertilizantes; señalan también que el cultivo responde de manera significativa a las adiciones de *Rhizobium* y micorriza. Asimismo encontraron que aplicando el tratamiento de fertilizante 25-50-0 ó 25-60-0, más *Rhizobium* como inoculante, el frijol produce buenos rendimientos.

Morales (2007), menciona que la aplicación de compostas mostró una tendencia a incrementar las variables ramas por planta y el rendimiento de grano en el frijol, asociada al incremento en el contenido de materia orgánica en el suelo. En cambio el fertilizante químico incremento la conductividad eléctrica, asimismo mostró descenso en la población de bacterias a la siembra y en la etapa de poscosecha. La cuenta total de hongos mostró un incremento en la etapa de floración del cultivo. Los actinomicetos presentaron diferencias significativas e incremento en la etapa de poscosecha.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el invernadero, así como en los laboratorios de Agromicrobiología y de Suelos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara (CUCBA), ubicado en Las Agujas, municipio de Zapopán, Jalisco, localizado en las coordenadas geográficas 20° 44', Latitud Norte, 103° 30' Longitud Oeste y una altitud de 1570 msnm.

4.2 Clima

El clima en el sitio donde se encuentra el área de experimentación, registra una temperatura media anual de 19.6°C, con una precipitación media anual de 979.6 mm, evaporación anual de 2193.8 mm y la humedad relativa media anual del 60.6%, clasificado como clima semicálido templado (Ruiz *et al.*, 2003).

4.3 Suelo

En la zona predomina el suelo regosol éutrico (INEGI, 1975) que consiste en una capa de material suelto que cubre a la roca, tiene muy poco desarrollo y por ello no presenta capas muy diferenciadas entre sí. Es claro y pobre en materia orgánica, de ligeramente ácido a alcalino, somero, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada por la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2004).

4.4 Variedad de frijol

Se utilizó la variedad de frijol Azufrado Tapatío, de hábito de crecimiento indeterminado postrado, guía corta tipo IIIa, con resistencia a antracnosis, roya, bacteriosis de halo, buena adaptación y rendimiento de grano, con ciclo vegetativo intermedio (47 días a la floración y 90 días a madurez) (Lepiz *et al.*, 2003; 2007).

4.5 Descripción del trabajo experimental

4.5.1 Tratamientos

Se utilizaron en total siete tratamientos consistentes en la aplicación de cuatro compostas originadas a partir de diferentes materiales o materia prima, vermiabono, fertilizante químico y un tratamiento testigo con sólo suelo como sustrato. La lista de los siete tratamientos, se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Relación y descripción de tratamientos utilizados en el estudio.

| NO. DE TRATAMIENTO | TRATAMIENTO | DOSIS |
|--------------------|---|-----------------------|
| 1 | Composta 4, tipo Bocashi, Paja de maíz, paja de frijol, estiércol, levadura y melaza. | 10 t ha ⁻¹ |
| 2 | Composta 1, Paja de frijol y estiércol | 10 t ha ⁻¹ |
| 3 | Composta 2, Paja de maíz, paja de frijol y estiércol | 10 t ha ⁻¹ |
| 4 | Composta 3, Paja de maíz y estiércol | 10 t ha ⁻¹ |
| 5 | Vermiabono | 10 t ha ⁻¹ |
| 6 | Fertilizante químico | 60-60-00 |
| 7 | Suelo | Testigo |

4.5.2 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para ubicar los tratamientos en invernadero y evaluar el efecto de los tratamientos sobre el suelo y sobre el cultivo, fue el denominado Completamente al Azar, utilizando 10 repeticiones. Los datos obtenidos en las diferentes variables cuantificadas en planta, se sometieron al análisis de varianza y a la prueba de separación de promedios denominada Tukey 0.05 (Steel, *et al.*, 1985).

En las variables microbiológicas se practicaron igualmente análisis de varianza y pruebas de separación de promedios. En las variables físicas y químicas no hubo repeticiones, por lo que los resultados se presentan en forma de gráficas.

4.5.3 Siembra y manejo agronómico del ensayo

El experimento se condujo bajo condiciones de invernadero, utilizando bolsas de plástico negro de 20 X 35 cm, con 4.0 kg de capacidad como maceta o unidad experimental. El suelo para la preparación de los tratamientos, se tomó de una parcela vecina al invernadero del Programa de Frijol (Los suelos dominantes en el municipio de Zapopán, corresponden a los tipos de Regosol, Feozem, Fluvisol y Litosol, con un proceso de formación *en situ* coluvial y aluvial. El nivel de fertilidad es muy variado, dado que el contenido de arcillas, materia orgánica y humedad cambian según el lugar donde se ubiquen (Según clasificación FAO-UNESCO, 1996). Se sembraron 3 semillas de frijol por maceta, variedad Azufrado Tapatio, el 16 de agosto de 2006. Una vez establecido el cultivo, se conservó para evaluación una planta por maceta. Las macetas se regaron en promedio cada tercer día y fue necesario controlar mosca blanca, por lo que se aplicó en dos ocasiones insecticida.

4.5.4 Variables de estudio

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el suelo y sobre la planta, se evaluaron variables químicas, físicas y microbiológicas del suelo, así como de la planta de frijol. Las variables del suelo se registraron en dos muestreos; el primero antes de la aplicación de los tratamientos y el segundo, inmediatamente después de la cosecha.

4.5.4.1 Variables químicas

Las variables registradas del suelo, se detallan en el Cuadro 2. Dichas variables fueron determinadas según el manual de Richards (1982).

Cuadro 2. Variables químicas cuantificadas en el suelo

| VARIABLE | MÉTODO |
|--|-------------------|
| Materia Orgánica (MO%) | Walkey-Black |
| Capacidad de Intercambio Catiónico meq 100 g suelo ⁻¹ | Acetato de amonio |
| Cationes intercambiables | |
| Ca Meq 100 g suelo ⁻¹ | E.D.T.A. |
| Mg Meq 100 g suelo ⁻¹ | Calculado |
| K Meq 100 g suelo ⁻¹ | Flamometría |
| Fertilidad | |
| pH | Potenciómetro |
| N nítrico ppm | Morgan |
| N amoniacal ppm | Morgan |
| P ppm | Morgan |
| K ppm | Morgan |
| Ca ppm | Morgan |
| Mg ppm | Morgan |
| Conductividad Eléctrica (CE) (mmhos cm ²) | Conductímetro |
| Relación C/N (%) | Calculado |

4.5.4.2 Variables físicas

Capacidad de absorción de agua (g cm⁻³), capilaridad (g cm⁻³), densidad (g cm⁻³) e infiltración (min), determinadas según el Manual de Fisher *et al.*, (2003).

4.5.4.3 Variables microbiológicas

Las variables microbiológicas que se cuantificaron como unidades formadoras de colonias (UFC), fueron las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos. Los medios de cultivo utilizados fueron PDA, Agar nutritivo y Czapek, respectivamente, el método utilizado fue el de diluciones decimales y vaciado en placa, según el manual de Valdés *et al.*, (2003).

4.5.4.4 Variables evaluadas en la planta de frijol

En la planta de frijol se registraron siete variables, cinco en la etapa vegetativa y dos en la etapa de madurez fisiológica; en ambos casos, el número de plantas evaluadas por tratamiento, fue de cinco. Las variables cuantificadas se enlistan a continuación:

- Longitud de parte aérea, medida desde el hipocótilo hasta el extremo superior de la última hoja trifoliada.

- Longitud de la raíz, medida desde el hipocótilo hasta el extremo inferior de la raíz principal.
- Peso de materia seca de la parte aérea de la planta (biomasa).
- Peso de materia seca de la raíz (biomasa).
- Nodulación, mediante la cuantificación de número de nódulos por planta.

En la etapa de madurez, las variables cuantificadas fueron:

- Número de vainas
- Peso de grano

4.5.4.5 Trabajo de laboratorio

De las mismas macetas donde se sembró el frijol en invernadero, se tomaron muestras de suelo para las determinaciones físicas, químicas y biológicas.

Las determinaciones físicas y microbiológicas, fueron efectuadas en el Laboratorio de Agromicrobiología, en tanto que las determinaciones químicas se efectuaron en el Laboratorio de Suelos, ambos ubicados en el CUCBA, de la Universidad de Guadalajara.

4.6. Materiales utilizados

En el invernadero se utilizaron los siguientes materiales:

- Bolsas de plástico negro para vivero, de 20 X 35 cm
- Suelo agrícola
- Semilla de frijol variedad Azufrado Tapatío
- Vermiabono
- Composta tipo Bocashi (paja de maíz, paja de frijol, estiércol, levadura y melaza)
- Composta de paja de maíz y estiércol
- Composta de paja de frijol y estiércol
- Composta de paja de maíz, paja de frijol y estiércol
- Termómetro
- Etiquetas

4.7 Materiales utilizados en el laboratorio

- Agares: nutritivo, PDA, Czapek
- Agua destilada
- Alcohol de 96°
- Algodón
- Bolsas de plástico negro
- Cajas de petri
- Frascos de 100 ml
- Gasas
- Marcador de aceite
- Mechero de alcohol
- Papel de estraza

4.8 Equipo utilizado

- Agitador rotatorio horizontal
- Agitador vortex
- Autoclave
- Balanza analítica
- Balanza digital
- Campana de flujo laminar
- Contador de colonias
- Incubadora
- Horno de secado
- Micropipeta digital volumen de 1.00 ml
- Microscopio óptico

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Efecto de la aplicación de los tratamientos sobre variables físicas de suelo.

Los resultados de la caracterización del suelo en la variable capacidad de absorción de agua, se muestran en la Figura 1. No obstante la ausencia de una prueba estadística para comparar los resultados obtenidos en los tratamientos, se pueden apreciar diferencias. Los tratamientos 1 (composta tipo Bocashi) y 5 (vermiabono), mostraron los valores más altos, en tanto que el tratamiento 7 (Testigo), mostró el valor más bajo; estos resultados muestran una estrecha relación con los tratamientos aplicados, destacando la aplicación de la composta tipo Bocashi y vermiabono que favorecieron la capacidad de absorción del agua en el suelo. Por su parte, el grupo de tratamientos, 2, 3 y 4 (compostas: frijol, maíz-frijol y maíz, respectivamente) mostraron una respuesta intermedia. El resultado concuerda con lo establecido en la literatura, donde se afirma que la materia orgánica favorece la capacidad de absorción y retención de agua en el suelo (FAO, 1991; Eduardo *et al.*, 2001, Trueba, 1996; Nieto *et al.*, 2002; Mora, 2006).

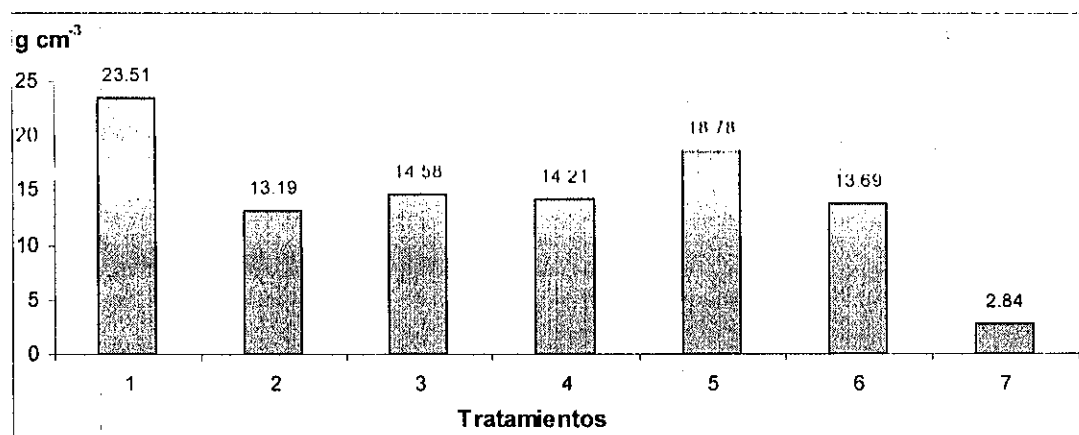


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre la capacidad de absorción de agua en el suelo.

Los resultados de la variable densidad aparente del suelo, se presentan en la Figura 2; se aprecia que con la aplicación de compostas al suelo, tiende a

disminuir el valor de la densidad aparente, lo que concuerda con los resultados encontrados por Castellanos *et al.*, (2000). La aplicación de vermiabono, mostró un comportamiento diferente; es decir, registró el mayor valor numérico. Este resultado podría explicarse por la granulometría fina del vermiabono, que incrementó la densidad aparente en el suelo donde fue aplicado.

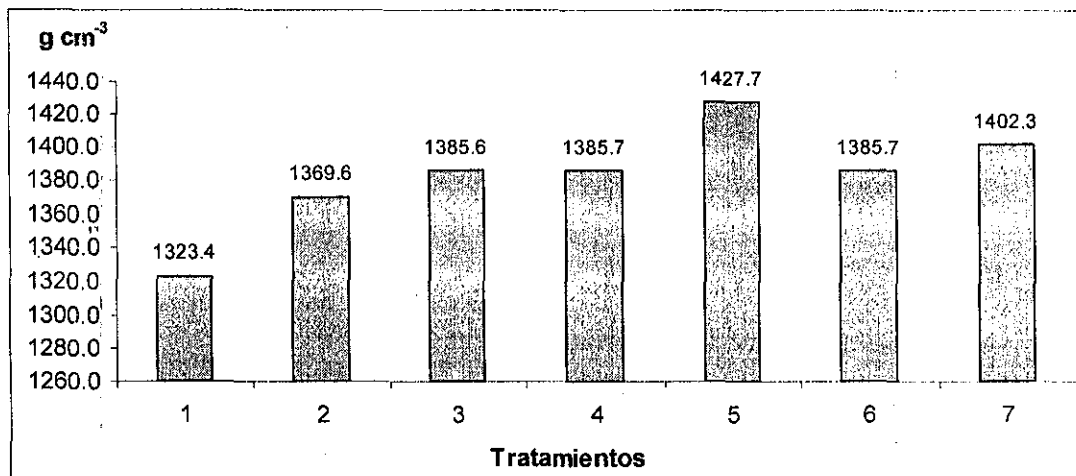


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la densidad aparente del suelo.

5.2. Efecto de los tratamientos sobre las variables químicas del suelo

Las variables químicas de suelo consideradas en el estudio fueron 10: MO, pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg, C/N y CE. Los análisis de varianza practicados, no detectaron diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos en ninguna de las variables. No obstante lo anterior, se apreciaron ciertas tendencias en respuesta a los tratamientos aplicados al suelo.

5.2.1. Materia orgánica (MO)

La Figura 3 muestra los resultados de la aplicación de abonos orgánicos al suelo sobre la variable "contenido de MO en el suelo". El análisis de varianza no encontró diferencias significativas para el efecto de tratamientos, lo que se traduce en un reflejo mínimo de las dosis de abono orgánico aplicado al suelo, sobre el contenido de MO, contrario a lo esperado, según lo consignado en la literatura (Castellanos, 2000). El resultado obtenido podría deberse a que sólo se aplicaron 10 t ha⁻¹ y durante un solo año. En este sentido López *et al.* (2001), y Nieto *et al.*

2002, señalan que deben aplicarse de 20 a 30 toneladas de abonos orgánicos para modificar las condiciones físicas y químicas del suelo. Por su parte Crespo (2000), señala que para incrementar de 1 a 2% el nivel de materia orgánica en el suelo, se requiere la aplicación de 25 toneladas de composta.

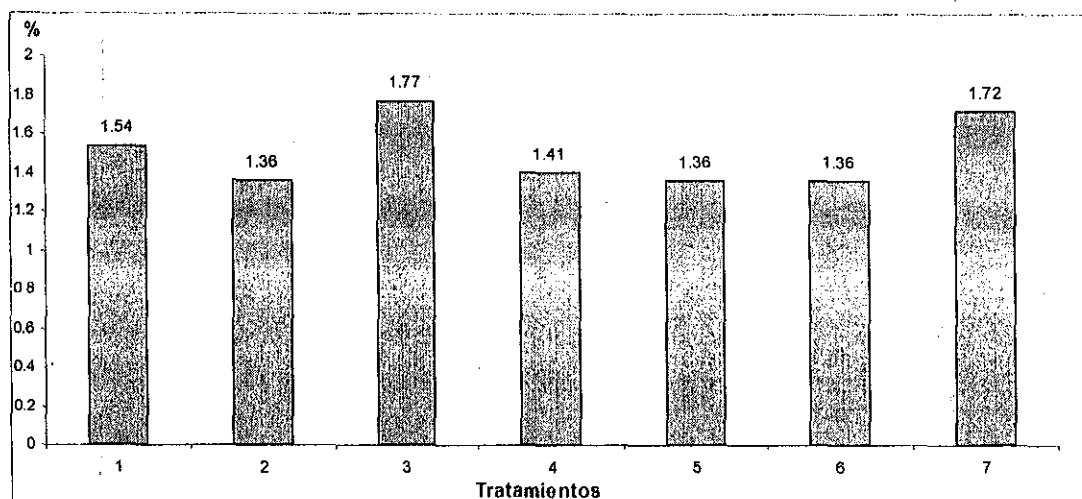


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el contenido materia orgánica en el suelo

5.2.2 pH del suelo

En la Figura 4 se muestran los valores de pH, los que variaron para los diferentes tratamientos entre 6.5 y 7.01, que son considerados altos para los suelos del área del Campo Experimental Las Agujas del CUCBA, que varían entre 4.7 y 5.4 (Morales, 2007). Una posible explicación de que los suelos del ensayo hayan registrado niveles de pH cercanos a la neutralidad, incluyendo el tratamiento testigo sin aplicación de materia orgánica, es que el terreno de donde se extrajo el suelo para la preparación de los tratamientos del ensayo, ha sido mejorado con aplicación de abonos orgánicos en los últimos años (López Alcocer, 2007; comunicación personal).

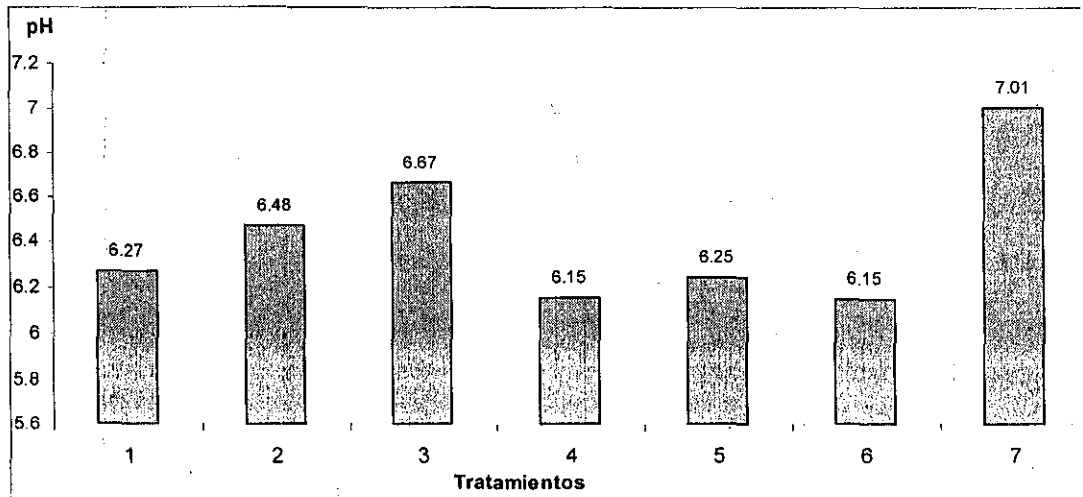


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el pH del suelo.

5.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los resultados de la variable CIC se presentan en la Figura 5. Se aprecia que todos los tratamientos mostraron valores similares. De lo anterior se deduce que la adición de materia orgánica en los niveles utilizados no modificó la capacidad de intercambio catiónico en ninguno de los tratamientos, lo que no es acorde con lo reportado en la literatura, en el sentido de que la aplicación de materia orgánica al suelo, incrementa la CIC (Castellanos *et al.*, 2000).

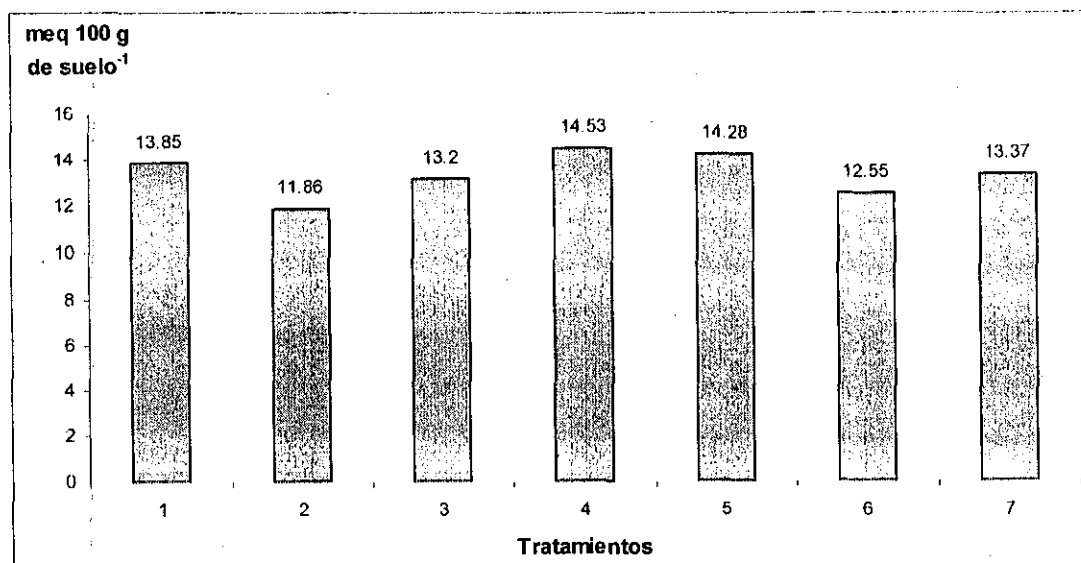


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

5.2.4 Nitrógeno nítrico (NO₃)

Los resultados del nitrógeno nítrico se presentan en la Figura 6. El análisis de varianza no detectó diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos, sin embargo la aplicación de abonos orgánicos y fertilizante, mostraron un mayor nivel de Nitrógeno nítrico que el tratamiento testigo. Estos resultados están de acuerdo con Castellanos *et al.*, (2000), quien menciona que las compostas que contienen materia prima proveniente de leguminosas, suministra y acumula Nitrógeno nítrico. Arrieche (2005), refiere que las compostas aumentan el contenido de nitrógeno en el suelo, por lo que se incrementó el rendimiento del cultivo.

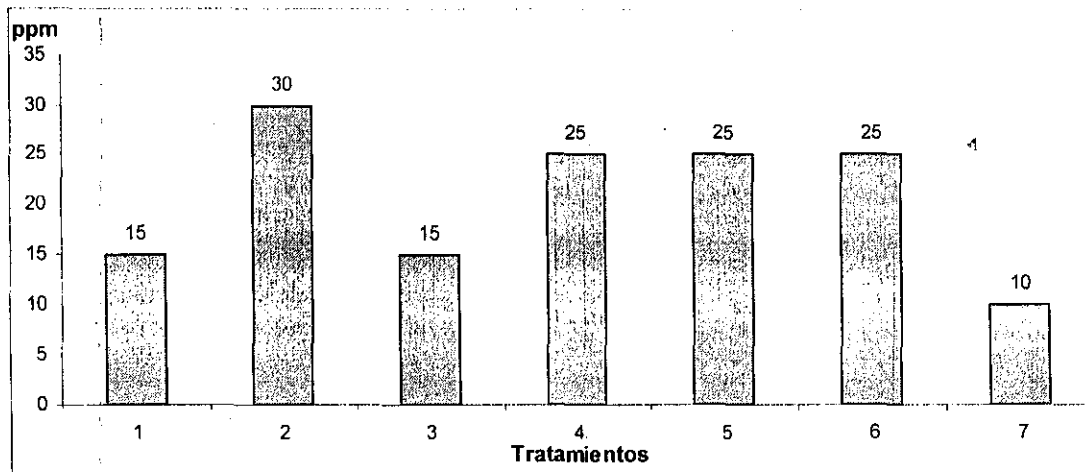


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Nitrógeno nítrico en el suelo.

5.2.5 Efectos de los tratamientos sobre Nitrógeno amoniacal (NH₄⁺), Fósforo disponible (P) y Potasio disponible (K)

El análisis de laboratorio reportó niveles uniformes en las determinaciones de nitrógeno amoniacal (12 ppm) y fósforo disponible (25 ppm); en la determinación de potasio el laboratorio determinó valores de 185 a 250 ppm, por lo que los análisis de varianza no reportaron diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos en estas tres variables, lo que muestra que la aplicación de compostas no tuvo mayor efecto sobre el factor suelo en las variables señaladas. Respecto al Nitrógeno amoniacal, la literatura consigna que en suelos con bajo contenido de materia orgánica se favorece la pérdida del

Nitrógeno por desnitrificación, ya que son suelos que tienden a compactarse. Respecto a la disponibilidad del fósforo y potasio en el suelo, la literatura menciona que tiende a ser mayor en aquellos sitios donde se han aplicado abonos orgánicos (Castellanos *et al.*, 2000), sin embargo los resultados no concuerdan del todo, debido posiblemente al bajo nivel de aplicación ya que la dosis utilizada fue solo de 10 t ha^{-1} y en un solo año. En este sentido López *et al.* (2001), y Nieto *et al.* (2002), señalan que deben aplicarse de 20 a 30 toneladas de abonos orgánicos para modificar las condiciones físicas y químicas del suelo.

5.2.6 Calcio disponible (Ca)

Los resultados de la variable calcio disponible se presentan en la Figura 7. El nivel varió de 500 a 850 ppm, lo que se considera a este suelo como bajo, en tanto que el análisis de varianza no reportó diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos. No obstante el bajo nivel de Ca registrado en el suelo, las plantas de frijol en ningún caso mostraron síntomas de deficiencia.

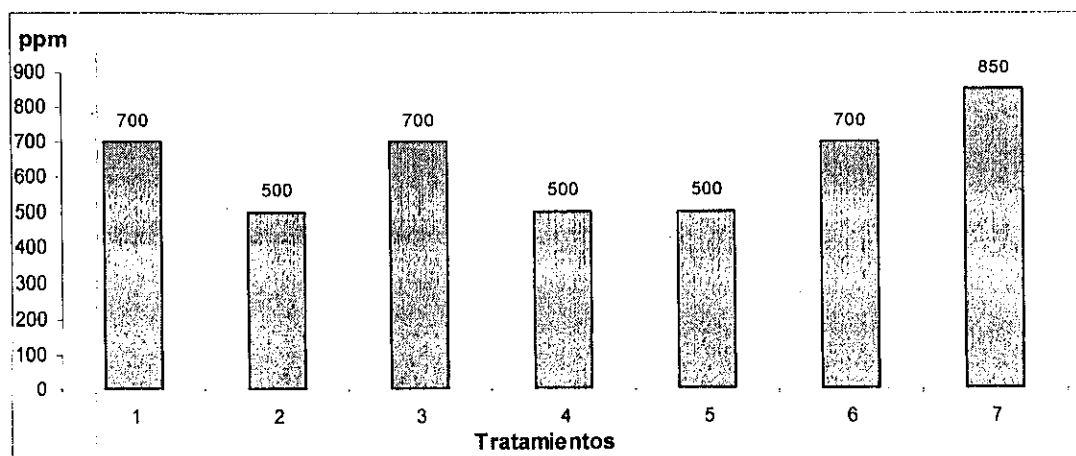


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el contenido del Calcio disponible en el suelo.

5.2.7 Calcio intercambiable (Ca)

Los resultados de la variable calcio intercambiable se presentan en la Figura 9, los valores donde se aplicaron compostas, variaron de 1.27 a 1.84 Meq $100 \text{ g de suelo}^{-1}$. En esta figura los resultados muestran un comportamiento similar al

reportado en la Figura 8 (Calcio disponible), donde los tratamientos donde se aplicaron abonos o fertilizante, muestran niveles menores al tratamiento testigo.

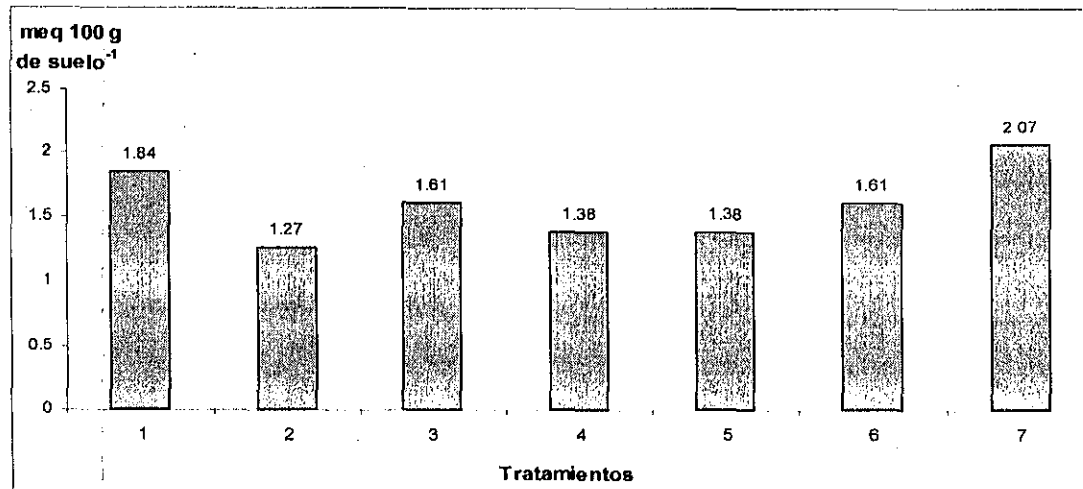


Figura 8. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Calcio intercambiable en el suelo.

5.2.8 Magnesio disponible (Mg)

Los resultados del Mg disponible se muestran en la Figura 9. Se observa que los valores variaron de 25 a 37.5 ppm, sin embargo el análisis de varianza no muestra diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos. La aplicación de compostas al suelo no modificó el contenido de Mg, lo que puede deberse a la baja concentración de calcio existente en ese suelo, tal como lo reportan Castañeda *et al.* (2000).

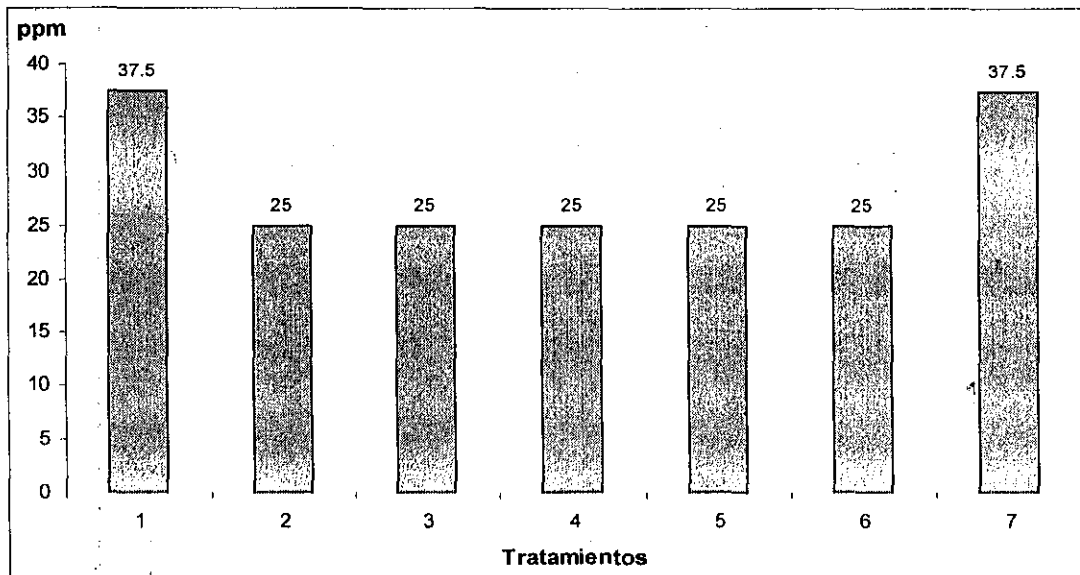


Figura 9. Efecto de los tratamientos sobre contenido de Magnesio disponible en el suelo.

5.2.9 Magnesio intercambiable (Mg)

En la Figura 10 se observa que el magnesio intercambiable, muestra un comportamiento similar al del magnesio disponible, sin embargo, el tratamiento testigo mostró un nivel menor al resto de los tratamientos.

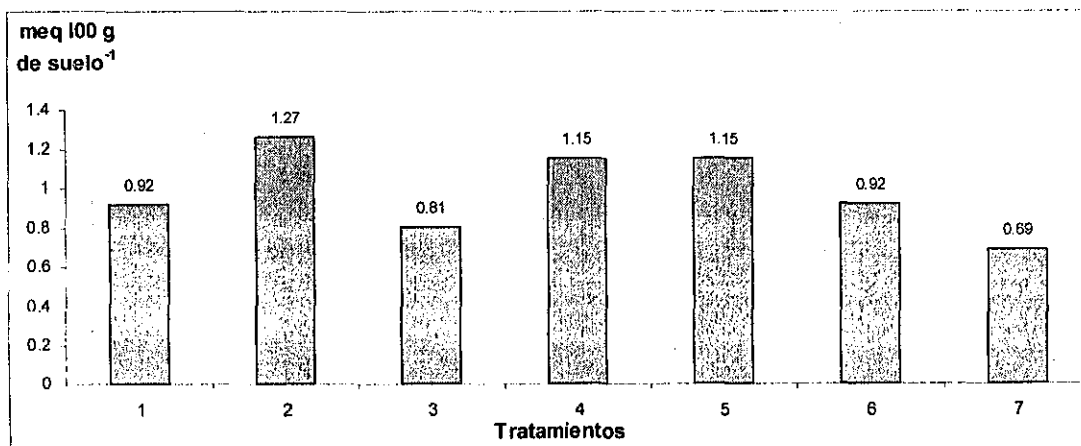


Figura 10. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Magnesio intercambiable en el suelo

5.2.10 Relación C/N

Los resultados de esta variable se presentan en la Figura 11. En general el suelo muestra niveles bajos en la relación C/N, lo que indica que el nivel de Nitrógeno en el suelo, se mantiene razonablemente alto en relación al Carbono presente. El análisis de varianza no detectó diferencia estadística significativa para el efecto de tratamientos, lo que a su vez concuerda con los niveles encontrados en el contenido de materia orgánica. Los valores de la relación C/N, se clasifican como bajos, resultados que coinciden con lo reportado por Crespo (2006), quien menciona que los valores para residuos vegetales es de 13-17%.

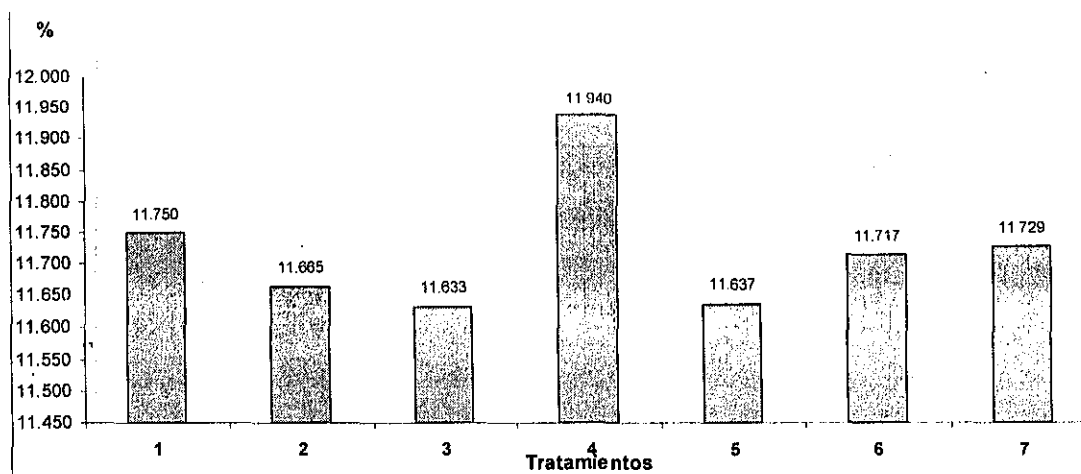


Figura 11 Efecto de los tratamientos sobre la relación de C/N en el suelo.

5.2.11 Conductividad eléctrica (CE mmhos cm^{-2})

Los resultados de CE se muestran en la Figura 12. Se observa que los niveles de C.E. se mantienen a un nivel bajo y sin alteración por la aplicación de abonos orgánicos o fertilizante. La salinización en el área de estudio no presenta niveles críticos, por lo que los resultados encontrados indican que esta condición puede conservarse mediante la aplicación de abonos orgánicos al suelo, lo que coincide con Arrieché (2005) que menciona que la aplicación de compostas disminuyen la CE.

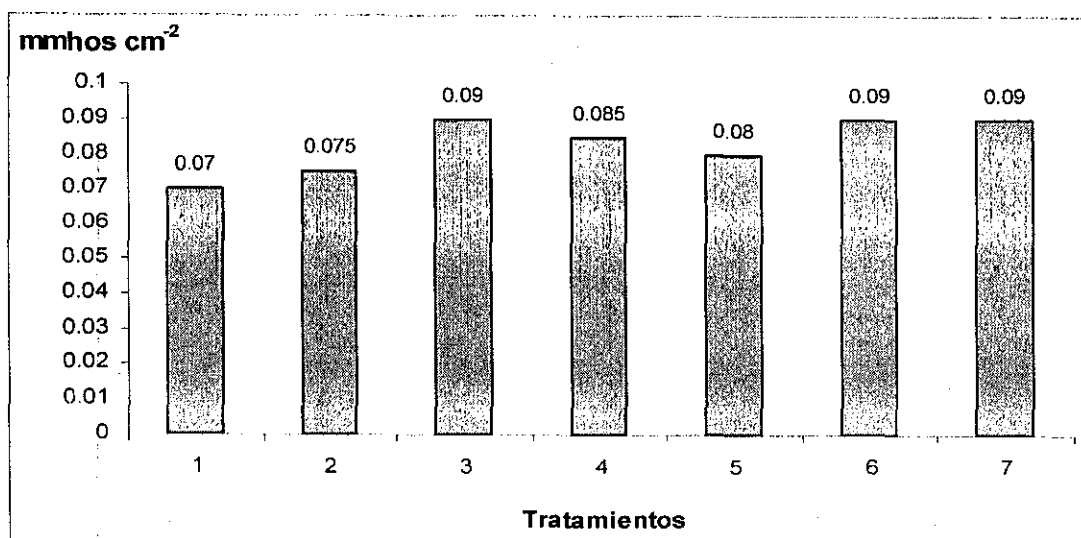


Figura 12 Efecto de los tratamientos sobre la Conductividad Eléctrica del suelo

5.3 Efecto de los tratamientos sobre la población microbiana

Para evaluar el efecto de la aplicación de los tratamientos al suelo, en relación a las variables microbiológicas, se efectuaron cuentas totales de hongos, bacterias y actinomicetos en el suelo; los resultados se reportan como Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas para el efecto de tratamientos solo para bacterias y actinomicetos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de los análisis de varianza para las variables actinomicetos, bacterias y hongos.

| VARIABLE | CUADRADO MEDIO | VALOR DE F | PROBABILIDAD DEL ERROR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|-------------------|----------------|------------|------------------------|--------------------------|
| UFC Actinomicetos | 3351.1904 | 3.0554** | 0.0261 | 20.5968 |
| UFC Bacterias | 585.7142 | 4.9471** | 0.0026 | 21.7193 |
| UFC Hongos | 22607.1429 | 2.1700 | 0.0874 | 50.9718 |

** Diferencia estadística altamente significativa.

Generalmente el crecimiento de la población microbiana del suelo se estimula con la adición de materia orgánica, sin embargo, existen particularidades ambientales en las que se favorece o se afecta la abundancia de cierto grupo en particular. Es necesario recordar que el muestreo del suelo para efectuar las cuentas totales se realizó en la estación de otoño, donde los restos del cultivo están presentes en la superficie y paralelamente la humedad del suelo decrece conforme avanza la estación. Así mismo las temperaturas bajan paulatinamente. El pH del suelo reportó valores cercanos a la neutralidad, variando de 6.15 a 7.0. Estas condiciones explican en parte los resultados en la población microbiana del suelo cuantificada.

La población de hongos en suelos agrícolas va de 20,000 hasta 1'000,000. En este trabajo los valores (cuenta total) de los hongos fueron de 200,000 a 425,000. Así la población de hongos presentó valores considerados dentro del rango normal. Las condiciones ambientales externas a los tratamientos, tal vez fueron factores que no permitieron la expresión de dichos tratamientos, por ejemplo, el pH cercano a la neutralidad, la falta de humedad y el descenso de la temperatura, afectaron el desarrollo de la población de hongos, en cambio permitieron la expresión de las bacterias y actinomicetos, que fueron elementos que compitieron por los nutrientes en forma favorable. Por su parte la población de actinomicetos presenta un buen desarrollo bajo condiciones de pH de neutro a alcalino, condiciones de sequía y bajas temperaturas. Ante el aporte de materia orgánica su expresión se manifestó mejor en estas condiciones. En cuanto a las bacterias por la característica de presentar una gran diversidad microbiana, capaz de desarrollarse en condiciones de un ambiente altamente heterogéneo, no tuvo restricciones ambientales, como sucedió en el caso de los hongos, por lo que la materia orgánica aportada en los tratamientos, fue aprovechada ampliamente como fuente de carbono y nitrógeno (Alexander, 1977).

La prueba de separación de promedios (Tukey, $p < 0.05$) para la variable actinomicetos se presenta en el Cuadro 4. Esta prueba agrupa a los tratamientos 2 (composta de frijol) y 4 (composta de maíz) con igualdad estadística y superioridad con respecto al resto de tratamientos. Los actinomicetos actúan en la

descomposición de la materia orgánica en la fase final, atacando los restos de material rico en lignina, una vez que las bacterias y hongos atacaron la parte rica en carbohidratos y celulosa. Tal vez la composta aportada en los tratamientos, no estaba lo suficientemente madura y parte del material rico en lignina aun estaba en proceso de descomposición. Esto sucede normalmente cuando se compostan materiales como maíz y frijol en fragmentos grandes y en forma independiente, lo que no sucede estrictamente cuando la paja de maíz y frijol se compostan juntas. Parece ser que la paja de maíz, rica en carbono, se complementa con la paja de frijol, rica en nitrógeno, dando como resultado una sinergia que se manifiesta en la aceleración y eficiencia en el proceso de compostaje (López y López, 2004, Tchobanoglous, *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Prueba de separación de promedios para la variable número de unidades formadoras de colonias de actinomicetos (UFC x 10⁻⁵).

| No. DE TRATAM | TRATAMIENTOS | PROMEDIO (UFC x 10 ⁻⁵) | TUKEY (p < 0.05) |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 2 | Composta 1 (frijol) | 165.0 | a |
| 4 | Composta 3 (maíz) | 70.0 | a |
| 6 | Fertilizante | 42.5 | b |
| 7 | Testigo | 40.0 | b |
| 5 | Vermiabono | 40.0 | b |
| 3 | Composta 2 (maíz + frijol) | 20.0 | b |
| 1 | Composta 4 (tipo bocashi) | 20.0 | b |

La prueba de separación de promedios (Tukey p < 0.05) para la variable bacterias se presenta en el Cuadro 5. Esta prueba agrupa a los tratamientos 2 (composta de frijol), y 3 (composta frijol-maíz) con igualdad estadística y superioridad respecto al resto de tratamientos. La población bacteriana con una alta diversidad le permite expresarse en un amplio rango de condiciones ambientales. Aquí su desarrollo se ve favorecido por la presencia de composta desarrollada a partir de paja de frijol, material con alto contenido de nitrógeno y bajo contenido en lignina, con una relación C/N, menor a 40 (Stoffella y Kahn, 2005).

Cuadro 5. Prueba de separación de promedios para la variable número de unidades formadoras de colonias de bacterias (UFC x 10⁻⁸).

| NO. DE TRATAM | TRATAMIENTOS | PROMEDIO (UFC x 10 ⁻⁸) | TUKEY (p <0.05) |
|---------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 2 | Composta 1 (frijol) | 107.5 | a |
| 3 | Composta 2 (frijol-maíz) | 75.0 | a |
| 4 | Composta 3 (maíz) | 52.5 | b |
| 7 | Testigo | 47.5 | b |
| 6 | Fertilizante | 40.0 | b |
| 1 | Composta 4 (Bocashi) | 35.0 | b |
| 5 | Vermiabono | 32.5 | b |

* Cifras seguidas de la misma letra indican igualdad estadística.

5.4 Efecto de los tratamientos sobre algunas variables de la planta de frijol.

Para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados al suelo sobre la planta de frijol, se cuantificaron las variables longitud de la parte aérea, longitud de raíz, peso seco de la parte aérea, peso seco de raíz de la planta, número de nódulos por planta, número de vainas por planta y peso de grano. Los resultados de los análisis de varianza en cada una de estas variables, se muestran en el Cuadro 6. Se encontraron diferencias altamente significativas para el efecto de tratamientos, en las variables nodulación y peso de grano, no así para el resto de las variables (longitud de parte aérea, longitud de raíz, peso seco parte aérea, peso seco de raíz y número de vainas). Es importante destacar que la variable número de vainas por planta, estuvo muy cerca de haberse declarado con diferencias significativas, por lo cual se incluirá en la discusión.

Cuadro 6. Resultados de los análisis de varianza de las variables registradas en la planta.

| VARIABLE | CUADRADO MEDIO | VALOR DE F | PROBABILIDAD DEL ERROR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|-------------------------------------|----------------|------------|------------------------|--------------------------|
| Longitud de parte aérea | 0.185748 | 1.0893 | 0.3929 | 11.26 |
| Longitud de raíz | 0.088131 | 2.1119 | 0.8608 | 9.18 |
| Peso de materia seca de parte aérea | 22.5248 | 1.0358 | 0.4234 | 49.35 |
| Peso de materia seca de raíz | 0.088131 | 0.8608 | 0.5354 | 43.28 |
| Nodulación | 1.38455 | 3.5320** | 0.0099 | 40.96 |
| Número de vainas | 22.2857 | 2.1291 | 0.0814 | 32.65 |
| Peso de grano | 42.647 | 3.7934** | 0.0069 | 39.96 |

** Diferencias altamente significativas entre tratamientos.

5.4.1 Longitud de parte aérea

Con respecto a la variable de longitud de parte aérea no se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza, pero mostró correlación con la variable de suelo contenido de Magnesio según se aprecia en la Figura 13. De acuerdo con este resultado, el contenido de Magnesio determinó el 32% de la longitud de la parte aérea de la planta de frijol.

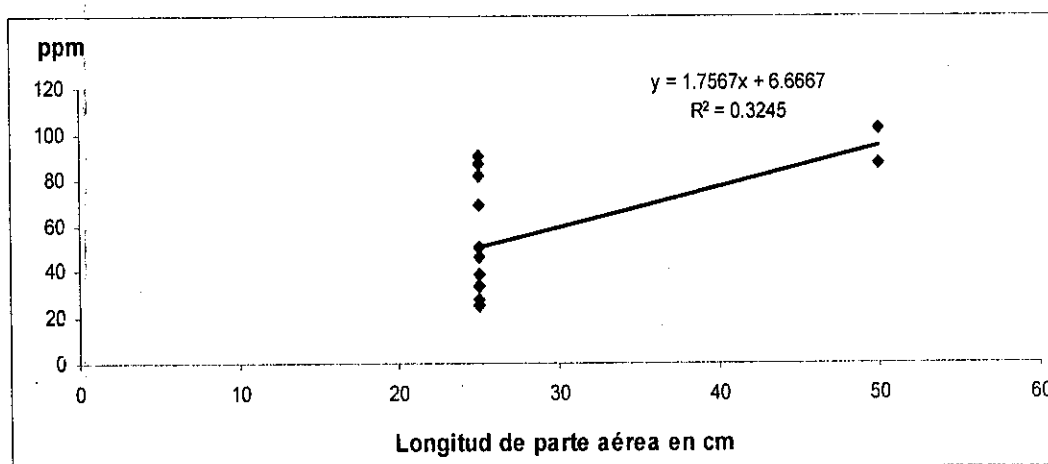


Figura 13. Coeficiente de correlación entre la variable de Magnesio y longitud de parte aérea de la planta de frijol.

4.5.2 Número de nódulos

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre los tratamientos en esta variable (Cuadro 6). Los resultados de la prueba de separación de promedios (Tukey, $p < 0.05$) para la variable nodulación, se presentan en el Cuadro 7. Esta prueba agrupa a la totalidad de tratamientos, excepto el tratamiento 6 (aplicación de fertilizante químico), con igualdad estadística y superioridad respecto de éste último tratamiento.

Los resultados obtenidos muestran una clara tendencia a una mayor nodulación en los diferentes tratamientos que llevan aplicación de abonos orgánicos al suelo, lo cual es un resultado lógico y esperado, según los reportes de Gutiérrez, *et al.*, (2001), en el que encontró que la nodulación en *Vigna unguiculata* (L.), reportó diferencia significativa en el número de nódulos efectivos por planta.

El tratamiento que llevó la aplicación de fertilizante al suelo, registró el menor valor para la variable nodulación; este resultado está de acuerdo con lo encontrado en trabajos similares, donde se afirma que en presencia de fertilizante nitrogenado, se inhibe la nodulación y la fijación de nitrógeno atmosférico (Dart, 1977).

Cuadro 7. Resultados de la prueba de separación de promedios en la variable nodulación.

| NO. DE TRATAM | TRATAMIENTOS | PROMEDIO | TUKEY ($p < 0.05$) |
|---------------|--------------------------|----------|-------------------------|
| 4 | Composta 3 (maíz) | 4.004* | a |
| 3 | Composta 2 (frijol-maíz) | 3.928 | ab |
| 5 | Vermiabono | 3.706 | ab |
| 2 | Composta 1 (frijol) | 2.472 | ab |
| 7 | Testigo | 2.245 | ab |
| 1 | Composta 4 (Bocashi) | 2.202 | ab |
| 6 | Fertilizante | 1.542 | b |

* Cifras seguidas de la misma letra indican igualdad estadística.

4.5.3 Variable número de vainas por planta

En el caso de número de vainas por planta, el análisis de varianza no reportó diferencia significativa para el efecto de tratamientos (Cuadro 6); sin

embargo, alcanzó un valor de .0814 de probabilidad de error. Por lo anterior y tomando en cuenta que el número de vainas por planta es un componente del rendimiento y muestra una correlación altamente significativa con el peso de grano (Figura 14), se hará un breve análisis sobre el particular. Atendiendo a los resultados de la ecuación de regresión de la Figura 14, en el presente estudio se encontró que el 77% del peso de grano está determinado por el número de vainas. Es decir, la relación entre las variables número de vainas por planta y peso de grano, es muy estrecha y confirma que el número de vainas es uno de los componentes del rendimiento de grano más importantes en frijol (White e Izquierdo, 1989).

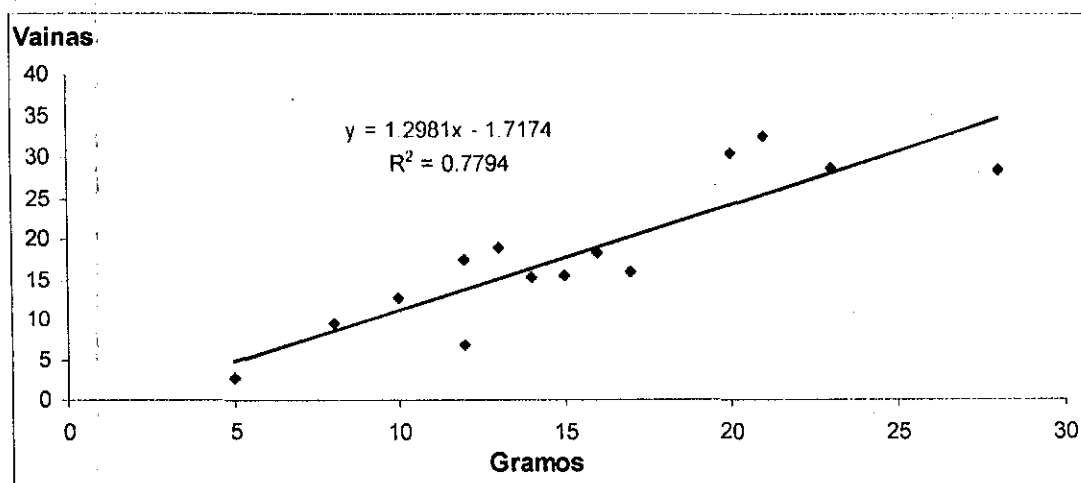


Figura 14. Coeficiente de correlación de las variables número de vainas y peso de grano.

4.5.4 Variable peso de grano

La prueba de separación de promedios Tukey, ($p < 0.05$) efectuada en la variable peso de grano por planta, se muestra en el Cuadro 8. Esta prueba agrupa a la totalidad de tratamientos, excepto el tratamiento 1 (composta tipo bocashi) con igualdad estadística y superioridad respecto a éste último tratamiento, el que registró el valor numérico más bajo del ensayo. Estos resultados nos muestran que la aplicación de abonos orgánicos ayuda a la formación de un ambiente favorable para el desarrollo de la actividad microbiana y con ello a un mejor desarrollo y producción del cultivo. La igualdad estadística incluye al tratamiento

donde se aplicó el fertilizante químico, tratamiento que comúnmente produce los rendimientos más altos en el cultivo de frijol. Esto sugiere que la aplicación de abonos orgánicos al suelo puede disminuir o eliminar la aplicación de fertilizante químico en la producción de grano en el cultivo de frijol.

Cuadro 8. Resultados de la prueba de separación de promedios para la variable peso de grano.

| NO. DE TRATAM | TRATAMIENTOS | PROMEDIO | TUKEY ($p < 0.05$) |
|---------------|--------------------------|----------|-------------------------|
| 5 | Vermiabono | 23.3820 | a |
| 7 | Testigo | 22.3880 | ab |
| 6 | Fertilizante | 17.4980 | ab |
| 3 | Composta 2 (frijol-Maíz) | 16.2700 | ab |
| 2 | Composta 1 (frijol) | 14.4120 | ab |
| 4 | Composta 3 (maíz) | 13.9480 | ab |
| 1 | Composta 4 (Bocashi) | 6.4820 | b |

* Cifras seguidas de la misma letra indican igualdad estadística.

VI CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y bajo las circunstancias que prevalecieron durante el desarrollo del experimento, se deducen las siguientes conclusiones:

1. La aplicación de compostas al suelo mostró efectos sobre las características físicas del mismo, con una tendencia a favorecer la capacidad de absorción de agua y a disminuir la densidad aparente.
2. El volumen de aplicación de compostas, no mostró efectos sobre las variables químicas de suelo consideradas.
3. La aplicación de compostas al suelo mostró efectos sobre la población microbiana de actinomicetos y bacterias, no así sobre la población de hongos.
4. La planta de frijol mostró respuesta a la aplicación de compostas al suelo, en las variables nodulación y rendimiento de grano.
5. Se acepta la hipótesis que señala que la aplicación de compostas al suelo influye en las características físicas y biológicas del mismo, no así para las variables químicas.
6. Se acepta la hipótesis que señala que la aplicación de compostas al suelo influye sobre las características de la planta de frijol, en las variables nodulación y peso de grano.
7. Los resultados en este trabajo sugieren que para inducir un mayor efecto en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, se requiere de la aplicación periódica de mayores volúmenes de composta.

8. Los resultados obtenidos sugieren que la aplicación de abonos orgánicos pueden disminuir o sustituir la aplicación de fertilizante químico en la producción de grano en el cultivo de frijol.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta G., J. A. y P. Pérez. 2000, Situación del cultivo de frijol común en México. Producción e investigación. Programa de frijol del INIFAP. (Consultado en noviembre del 2006) Disponible en: <http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos/anais/palestras/mesa1a.pdf>
- Acosta G., J. A. y P. Pérez H. 2007. Situación del cultivo de Frijol común en México, producciones e investigaciones. Programa de Frijol del INIFAP. Chapingo Edo. de México (Consultado el de 21 de enero del 2007). Disponible en: <http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos/anais/palestras/mesa1a.pdf>
- Alemán M., V.; S. Núñez; L. Flores; P. Alemán y J. J. Aceves. 1996. Guía para producir frijol en los Altos y Centro de Jalisco. Agenda Técnica No. 2. Campo Experimental de Los Altos de Jalisco. CIRPAC, INIFAP. 36 p.
- Alexander M., 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons. USA. p.p 438- 455.
- Ansorena M., J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. España. 172 p
- Arrieché I. y O. Morá. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo de maíz en suelos degradados del estado de Yaracuy, Venezuela. Biagro 17(3):155-159.2005 (Consultado el 23 de febrero del 2007) Disponible en: [http://pegasus.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17\(3\)/5.%20Efecto%20de%20la%20aplicacion%20de%20residuos.pdf](http://pegasus.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17(3)/5.%20Efecto%20de%20la%20aplicacion%20de%20residuos.pdf)

- Avilés G., M. y J. Tello. 2001. Agroecología y desarrollo. El compostado de los residuos orgánicos, su relación con las enfermedades de las plantas. Editorial Mundiprensa. España. 566 p.
- Barea J., M. y J. Olivares. 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo, Agricultura Sostenible, Jiménez Díaz, R, y Lamo de Espinosa, R. (Eds.) Editorial Mundi Prensa. Madrid Pp.173-193.
- Bollen G., J. 1993. Factor involved in inactivation of plant pathogens during composting of crop residues. In: Hoitink, H.A.J. y Keene, H.M. (ed.) Science and engineering of compostin: desing, environmental, microbiological and utilization aspects. Renaissance Publications, Whorthington. Ohilo. 301-318.
- Calderón C., F.Ç; V. Magaña y J. J. López. 2004. La materia orgánica en el suelo. En: Agroecología. Principios y métodos. E. López, A., S. Hurtado, P. y F. López, A. (Editores). Universidad de Guadalajara. México. pp 75-90.
- Castellanos J., Z.; X. Uvalle y A. Aguilar. 2000, Manual de interpretación de suelos y aguas. Editorial: Instituto de capacitación para la productividad agrícola. 2da. Edición. 226 p.
- Claverán A., R. 1996. Agricultura orgánica: producción de México para el mundo. Universidad Autónoma Metropolitana. México. D. F. pp. 1, 2.
- Crespo G., M. R. 2000. El oro café de la agricultura. Compost. Teoría y práctica del reciclado de residuos orgánicos. Editorial. Universidad de Guadalajara y Fundación Produce Jalisco, A. C. México. 85 p.
- Dalzell H., W.; J. Biddlestone; R. Gray y K. Thurairajan. 1901. Manejo del suelo: producción y uso del composta en ambientes tropicales y subtropicales. Editorial: Servicio de Recursos, manejo y conservación del suelos. Dirección de fomentos de tierras y aguas. FAO. Roma. 178 pp.

- Dart P. 1977. Infection and development of leguminous nodules. In. Hardy R.W.F. Editor. A treatise on dinitrogen fixation, Section III. John Wiley and Sons. USA.
- Eduardo A., J. J.; L. Tijerina; A. Acosta y A. López. 2001. Producción de ciruelo con fertirriego en función de contenidos de humedad y coberturas orgánicas. Terra 19:317-326. (Consultado el 23 de Febrero del 2007). Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art317-326.pdf>
- FAO, 1991. Manejo del suelo producción y uso de composta en ambientes tropicales. Boletín de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 178 pp.
- FAO-UNESCO. 1976. Mapa mundial de suelos. Volumen 1. UNESCO. Paris. 68 p.
- Fisher P.; Miramontes E. y M. Crespo. 2003. Curso: Uso y manejo de compostas para sustratos de hortalizas y ornamentales. Septiembre. CUCBA. U. de G. pp.64-71.
- Graetz H., A. 2000. Manuales de educación agropecuaria, suelos y fertilización. Editorial Trillas. México. Séptima reimpresión. 80 pp.
- Gutiérrez W.; C. Medrano; M. Materan; Y. Villalobos; D. Esparza; J. Baéz y B. Medina. 2001 Evaluación del rendimiento y nodulación del frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp bajo dos sistemas de labranza en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 18:237-246.
- Guzmán C., G.; M. González y E. Sevilla. 2000. Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible. Editorial, Grupo Mundiprensa, España. pp. 45-46.

- Hoitink H., A.; J. Inber y J. Boerhm. 1987. Status of compost-amended potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. *Plant* 75:869-873
- INEGI. 1975 Carta edafológica. Guadalajara Oeste F13 D35. Escala 1:50,000. México.
- INEGI. 2004. Guía para la interpretación de Cartografía. Edafología. México. pp. 18-22.
- Kennedy A., C y L. Smith. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant soil*. 170:75-86
- Kohashi S., J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Colegio de Postgraduados 42 p.
- Kononova M., M. 1965. Soil Organic Matter Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press 2ad. Edition. pp. 4.
- Kremlin R. 1986, Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Editorial Limusa. México. Segunda reimpresión. 188 p.
- Labrador M., J. 1996. La material orgánica en los agrosistemas, Editorial Mundiprensa. Madrid, España. 174p.
- Labrador M., J. 2001. Agroecología y desarrollo. Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agrosistemas mediterráneos. Aproximación a la gestión agroecológica de la fertilidad de suelo. Editorial Mundiprensa. España. 566 p.
- León A., R. 1991. Nueva edafología. Editorial Fontamar. S.A. México. 285 p.

Lépiz I., R.; E. López; J. L. Martínez; S. Núñez y A. Gonzáles. 2003. Identificación y desarrollo de variedad de frijol para ambientes favorables. SCientia-CUCBA. Vol.5. No. 1-2. Editorial Universidad de Guadalajara. 130 p.

Lépiz I., R.; S. Sánchez; E. López; A. González y S. Núñez. 2007. El cultivo de frijol en las regiones Centro y Sur de Jalisco. Tecnología para altos rendimientos. U. de G. INIFAP. 38 p.

López M., F. Fernández; V. Schoonhoven. 1985. Frijol: Investigación y producción. Centro internacional de agricultura tropical (CIAT). Segunda edición. 265 p.

López M., J. D.; A. Díaz; E. Martínez; D. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimientos de maíz. (Rev.) TERRA 19: 293-299. (Consultado el 3 de febrero del 2007). Disponible en:
www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf

López A., E.; S. Sánchez y J. J. López. 2004. Metodología para regionalizar el uso de inoculantes del género *Rhizobium*, considerando factores edafológicos y climáticos. En. Agroecología: Principios y Métodos. Universidad de Guadalajara. México. pp 45-74.

López A., E. y F. López. 2004. Ecosistemas y Agroecosistemas. En Agroecología: Principios y Métodos. E. López-Alcocer, S. Hurtado y F. López-Alcocer (Editores). Universidad de Guadalajara. México. pp 7-12.

López A., E.; R. Lépiz; A. Loza y A. López. 2004. La composta. En Agroecología: Principios y Métodos. E. López-Alcocer, S. Hurtado y F. López-Alcocer (Editores). Universidad de Guadalajara. México. pp 91-96.

Luna de, V. A. y E. Vázquez. 2003. Elaboración de abonos orgánicos. Universidad de Guadalajara. México. 62 p.

- Mora D., J. R. 2006. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo. Universidad de Costa Rica. Disponible en:
http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=202&Itemid=202.
- Morales T., M. 2007. Efecto de la aplicación de agroquímicos y abonos orgánicos sobre la producción de frijol y la población microbiana del suelo. Tesis de maestría en: Ciencias Agrícolas y Forestales. CUCBA. UDG. 80 p.
- Nieto G., A.; E. Troyo; B. Murillo; J. García y A. J. Larrinaga. 2002. La composta. Importancia, elaboración y uso agrícola. Editorial: Centro de investigaciones biológicas del Noroeste. S. C. La Paz, BCS. México. pp. 6-57.
- Poincelot R., P. 1972. The biochemistry and methodology of composting. Bolletín 727. Conn. Agric. Exp. Stn.
- Quiroz H., R. y C. Ramírez. 2006. Efecto de rastrojos en el Nitrógeno de biomasa microbianos en un agroecosistema arrocerero inundando. Universidad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Rev. Agronomía Mesoamericana 17(2): 167-178
- Queitsch K., J. 2005. Necesidad de desarrollar la agricultura ecológica. En Agricultura ecológica y desarrollo regional sustentable. Producir en armonía con la naturaleza. Editorial. Promotores de la autogestión para el desarrollo social S. C. Universidad del Sur A. C. México. 448 p.
- Reyes A., J. C.; A. Rubi y J. J. Aguilar. 1995. Manejo orgánico en el cultivo de aguacate. (Consultado en noviembre del 06) Disponible en:
www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1995/Ecol_195.pdf.
- Richards L., A. 1982. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa. México. Cuarta reimpresión. 172 p.

Ruíz J., A; I. González; J. Anguiano; I. Vizcaíno; D. Ibarra; J. Alcalá; S. Espinoza y H. Flores. 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1961-2000). INIFAP-SAGARPA.

SAGARPA, 2004. Consultado el 14 de febrero del 2007. Disponible en: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/FRIJOL.PDF.Articulo>

Santamaría R., S. 1999. Escalamiento de los procesos de composteo y vermicomposteo, aspectos biológicos y nutrimentales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Santos R., R.; L. Sarmiento; I. Armendáriz; R. Beldar y R. Cetina. 2004. Modulo de sustratos y nutrición para la producción de monogástricos. Manual de prácticas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. Pp.1-2.

Singh S., P. 1999. Production and utilization. In: S.P. Singh (ed.), Common Bean Improvement in the Twenty-First Century. Developments in Plant Breeding Vol. 7 Kluwer Academic Publishers.

Steel G., D. R. y J. Torrie. 1985. Bioestadísticas. Principios y procedimientos. Editorial Mc-Graw-Hill. Latinoamericana, S. A.2da. Edición. Bogota, Colombia. 622 p.

Stoffella P., J. y A. Kahn. 2005. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Editorial Mundiprensa. México. 397 pp.

Tcobanoglous G.; H. Theisen y S. Vigil. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Vol II. Mc Graw Hill. México. pp 775-806.

Torres A.; C. Rivero; Y. Ampueda y E. Cori de. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con ^{15}N sobre la dinámica del nitrógeno en dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 28:105-116.

Triano S., A.; D. Palma y E. Hernández. 2005. Uso de sustratos orgánicos y reciclaje de nutrimentos en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Cunduacán, Tabasco. Colegio de postgraduados en ciencias agrícolas, campos Tabasco. Fundación PRODUCE, Tabasco, A.C. (Consultado el 7 de febrero del 2007). Disponible en:
<http://www.fuprotab.org/pdfs/informe%20final%20compostaje.pdf>

Trueba C., S. 1996. Fertilizantes Orgánicos y Compostas. En Memoria Agricultura Orgánica: Una Opción Sustentable para el Agro Mexicano. UACH. Texcoco, México. 163 pp. UABCS (1991) Manual operativo

White J. y J. Izquierdo. 1989. FRIJOL: Fisiología del potencial de rendimiento y la tolerancia al estrés. CIAT-FAO. Santiago, Chile. 91 p.

Widman A., F.; R. Herrera y D. Cabañas. 2005. El uso de compostas provenientes de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares Windman Aguayo F. *et al.* Ingeniería 9-3 (2005) 31-38. (Consultado el 28 de enero del 2007). Disponible en:
www.redalyc.org.

Valdés R., M; A. Echegaray; V. Olalde; A. M. Vazquez; J. Rodríguez y J.J. Ortega. 2003. Manual practico de Microbiología agrícola, Editorial Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Departamento de Microbiología. Laboratorio de Microbiología Agrícola. 69 p.

Velasco V., J.; B. Figueroa; R. Ferrera; T. Santos y J. Gallegos. 2004. CO_2 y dinámica de poblaciones microbianas en compostas de estiércol con aireación. Publicado en *Terra Latinoamericana*: 307-316.

Velásquez G, J. 1997. Avances de la investigación en labranza de conservación.
En. Avances de investigación en labranza de conservación I. INIFAP.
México. Pp 3-10.

VIII APÉNDICE

Cuadro 9 Análisis de Varianza los microorganismos presentes en el suelo.

| Variable | FUENTE DE VARIACION | GL | SUMA DE CUADRADOS | CUADRADOS MEDIOS | F | P |
|-----------|---------------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Actinom | Tratam. | 6 | 61435.714 | 10239.285 | 3.055 | 0.0261 |
| | Error | 21 | 70375 | 3351.190 | | |
| | Total | 27 | 131810.71 | | | |
| Bacterias | Tratam. | 6 | 17385.714 | 2897.6190 | 4.9471 | 0.0026 |
| | Error | 21 | 12300 | 585.714 | | |
| | Total | 27 | 29685.714 | | | |
| Hongos | Tratam. | 6 | 294350 | 49058.333 | 2.1700 | 0.0874 |
| | Error | 21 | 474750 | 22607.142 | | |
| | Total | 27 | 769100 | | | |

Cuadro 10 .Análisis de Varianza de las variables vegetativas de la planta de frijol

| VARIABLE | FUENTE DE VARIACIÓN | GL | SUMA DE CUADRADOS | CUADRADOS MEDIOS | F | P |
|---|---------------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Longitud de parte aérea | Tratam. | 6 | 1.2139 | 0.2023 | 1.0893 | 0.3929 |
| | Error | 28 | 5.2009 | 0.1857 | | |
| | Total | 34 | 6.4148 | | | |
| Longitud de raíz | Tratam | 6 | 1.8265 | 0.0758 | 2.1119 | 0.8608 |
| | Error | 28 | 2.4676 | 0.08813 | | |
| | Total | 34 | 2.9228 | | | |
| Peso seco de parte aérea | Tratam. | 6 | 139.9807 | 23.3301 | 1.0358 | 0.4234 |
| | Error | 28 | 630.6955 | 22.5248 | | |
| | Total | 34 | 770.6762 | | | |
| Peso seco de raíz | Tratam. | 6 | 0.4551 | 0.075860 | 0.8608 | 0.5354 |
| | Error | 28 | 2.4676 | 0.088131 | | |
| | Total | 34 | 2.9228 | | | |
| Nodulación (Presencia de <i>Rhizobium</i>) | Tratam. | 6 | 29.3411 | 4.89018 | 3.5320 | 0.0099 |
| | Error | 28 | 38.7675 | 1.38455 | | |
| | Total | 34 | 68.1086 | | | |
| Número de Vainas | Tratam. | 6 | 284.6857 | 47.4476 | 2.1291 | 0.0814 |
| | Error | 28 | 624.0000 | 22.2857 | | |
| | Total | 34 | 908.6857 | | | |
| Peso de Grano | Tratam. | 6 | 970.6647 | 161.777 | 3.7934 | 0.0069 |
| | Error | 28 | 1194.1225 | 42.647 | | |
| | Total | 34 | 2164.7872 | | | |