

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICO MINERAL
EN FRIJOL ARBUSTIVO, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO
TESIS DE GRADO

ADÁN ESTUARDO RODAS ECHEVERRÍA
CARNET 22819-14

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICO MINERAL
EN FRIJOL ARBUSTIVO, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

ADÁN ESTUARDO RODAS ECHEVERRÍA

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. JUAN ALBERTO QUIÑONEZ

Escuintla 03 de Septiembre de 2018.

Miembros
Consejo de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

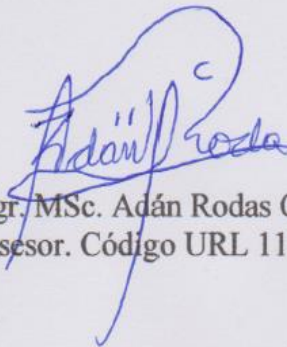
Estimados Profesionales:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado en la elaboración de su informe final de trabajo de graduación, al estudiante: Adán Estuardo Rodas Echeverría, carné 22819-14, titulado "Evaluación agroeconómica de programas de fertilización orgánico mineral en frijol arbustivo. La Alameda, Chimaltenango".

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ciencias Ambientales y agrícolas, de la Universidad Rafael Landívar, por lo que sugiero su aprobación.

Sin otro particular,

Atentamente:



Ing. Agr. MSc. Adán Rodas Cifuentes
Asesor. Código URL 11113



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ADÁN ESTUARDO RODAS ECHEVERRÍA, Carnet 22819-14 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06154-2018 de fecha 1 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICO MINERAL EN FRIJOL ARBUSTIVO, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 3 días del mes de septiembre del año 2018.

**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTO

A Dios:

Por regalarme la vida, bendecirme abundantemente y permitirme ser un hombre de bien.

A mis padres y mi hermana:

Adán Rodas Cifuentes
Magdalena Echeverría De León
Sharonn Vanessa Rodas Echeverría
Por brindarme su amor, su comprensión y su apoyo en todo momento.

A mis familiares en general:

Por sus consejos, apoyo y estar pendiente de mi formación profesional.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA- Chimaltenango

Por darme la oportunidad de adquirir experiencia de campo.

A mis docentes:

Por sus consejos, enseñanzas y por compartir sus experiencias.

A la Universidad Rafael Landívar:

Por abrirme sus puertas para poder formarme profesionalmente.

ÍNDICE

	Página	
1.	INTRODUCCIÓN	01
2.	MARCO TEÓRICO	03
2.1	Suelo y sus Componentes	03
2.2	Ciclo del Carbono	03
2.2.1	Relación carbono y materia orgánica	05
2.3	Materia Orgánica del Suelo	06
2.3.1	Componentes de la materia orgánica del suelo	07
2.3.2	Importancia de la materia orgánica del suelo	07
2.3.3	Origen y composición de la materia orgánica del suelo	09
2.3.4	Calidad de la materia orgánica del suelo	10
2.3.5	Pautas de manejo de la materia orgánica del suelo	12
2.4	Humus	15
2.5	Generalidades sobre Fertilizantes	16
2.5.1	Definición de fertilizantes	16
2.5.2	Expresión del contenido nutricional	16
2.6	Fuentes de Nutrimientos para los Cultivos	17
2.6.1	Fertilizante químico mineral	17
2.6.2	Abono orgánico	18
2.7	Fertilización de los Suelos o de los Cultivos	26
2.7.1	Fertilización química o mineral	26
2.7.2	Fertilización orgánica	27
2.7.3	Fertilización química-orgánica	28
2.8	Revolución Verde e Impacto Ambiental Causado por la Agricultura	30
2.9	Cultivo de Frijol y su Importancia	31
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
3.1	Definición del Problema	32
3.2	Justificación de la Investigación	32

4.	OBJETIVOS	33
4.1	Objetivo General	33
4.2	Objetivos Específicos	33
5.	HIPÓTESIS	34
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
6.1	Localización del Área Experimental	35
6.2	Material Experimental	35
6.3	Factor Estudiado	35
6.4	Descripción de los Tratamientos	35
6.5	Diseño Experimental	36
6.6	Modelo Estadístico	36
6.7	Unidad Experimental	37
6.8	Croquis de Campo	37
6.9	Manejo del Experimento	38
6.9.1	Preparación del terreno y trazo del experimento	38
6.9.2	Siembra	39
6.9.3	Control de malezas	39
6.9.4	Control fitosanitario	39
6.9.5	Cosecha	39
6.10	Variables de Respuesta	40
6.11	Análisis de la Información	40
6.11.1	Análisis estadístico	40
6.11.2	Análisis económico	41
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
7.1	Análisis Estadístico	42
7.1.1	Vainas por planta	42
7.1.2	Granos por vaina	43
7.1.3	Peso de cien granos	44
7.1.4	Rendimiento de grano	46
7.2	Análisis Económico	49

8.	CONCLUSIONES	52
9.	RECOMENDACIONES	53
10.	BIBLIOGRAFÍA	54
11.	ANEXO	59
11.1	Resultados de los Análisis químicos de los Abonos Orgánicos y del Suelo	59
11.2	Datos de Campo de la Evaluación de Tratamientos de Fertilización Orgánico-Mineral en Frijol Arbustivo	61

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Tratamientos evaluados en el experimento.	36
Tabla 2	Resumen del análisis de varianza para la variable vainas por planta.	42
Tabla 3	Resumen del análisis de varianza para la variable granos por vaina.	43
Tabla 4	Resumen del análisis de varianza para peso de cien granos.	45
Tabla 5	Contrastes ortogonales, con base en el rendimiento de grano.	46
Tabla 6	Resumen del análisis de varianza para rendimiento de grano (kg/ha).	47
Tabla 7	Prueba de medias (DGC) para rendimiento de grano (kg/ha).	48
Tabla 8	Costos variables, ingreso bruto e ingreso neto (Q./ha) para los diez programas de fertilización orgánico mineral.	49
Tabla 9	Tasa de retorno marginal (%) para los diez programas de fertilización orgánico mineral.	50
Tabla 10	Resultado del análisis químico practicado a muestras de los abonos orgánicos.	59
Tabla 11	Resultado del análisis químico practicado a una muestra del suelo.	60
Tabla 12	Resultado del análisis físico (textura) practicado a una muestra del suelo.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Distribución de los tratamientos en el campo.	38
Figura 2	Vainas por planta con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.	43
Figura 3	Granos por vaina con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.	44
Figura 4	Peso de 100 granos (g) con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.	45

EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICO MINERAL EN FRIJOL ARBUSTIVO, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO

RESUMEN

Se evaluaron ocho programas de fertilización orgánico mineral, para ello se trabajaron proporciones 100:0, 75:25; 50:50 y 25:75 (composta de basuras orgánicas + fertilizante químico, y lombricompost + fertilizante químico); se adicionaron dos testigos, uno 100% químico, equivalente a 60-60-60 kg de N-P₂O₅-K₂O por hectárea, y el otro absoluto. El programa 100% de abono orgánico fue equivalente a 2 t/ha. Las variables respuesta fueron: a) vainas por planta; b) granos por vaina; c) peso de cien granos; d) rendimiento de grano; e) costos e ingresos. El análisis se hizo mediante análisis de varianza, contrastes ortogonales, pruebas de medias y determinación de la tasa de retorno marginal. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los programas, para número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso de cien granos; sin embargo, los programas consistentes en la aplicación de 2 t/ha de composta a base de basuras orgánicas ó 2 t/ha de lombricompost, mostraron tendencia a mejorar los tres componentes de rendimiento. Los programas si tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento de grano del frijol; éste último fue mayor cuando sólo se aplicó abono orgánico (2 t/ha de lombricompost o 2 t/ha de composta de basuras orgánicas) o cuando se aplicó fertilizante químico 15 kg de N-P₂O₅-K₂O por hectárea y 1.5 t/ha de cualquiera de los abonos orgánicos. Con el programa 100% de composta a base de basuras orgánicas se obtuvo una tasa de retorno marginal de 151% con respecto al testigo absoluto; el resto de programas resultaron dominados.

1. INTRODUCCIÓN

El frijol es un alimento fundamental en la dieta diaria de los guatemaltecos, sobre todo para familias de escasos recursos económicos, ya que constituye la fuente principal de proteínas para este sector. Dentro de los granos básicos, ocupa el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que consume la población; es así, que como generador de empleo, es relevante dentro de la economía del sector rural. El frijol de color negro es el preferido y es un cultivo practicado por agricultores de bajos recursos económicos y utilizando principalmente suelos marginales, en los cuales las deficiencias nutricionales pueden limitar los rendimientos. La limitante nutricional más común, es la deficiencia de fósforo; la deficiencia de nitrógeno es común en los suelos con bajo contenido de materia orgánica.

La materia orgánica del suelo y, específicamente el carbono orgánico, juega un papel relevante en el mantenimiento y la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Es importante destacar el carácter dinámico e interactivo del sistema suelo, por lo que los cambios en una propiedad, probablemente afectarán a otras propiedades del suelo.

Es conocida la importancia que para la calidad y productividad de un suelo, tienen la cantidad de materia orgánica contenida en él y su naturaleza. Si el suelo tiene poca cantidad de materia orgánica o su nivel desciende por algún factor, la productividad del mismo disminuye; por lo tanto, es fundamental preocuparse por mantener e incluso mejorar el contenido.

El uso y la aplicación de materia orgánica en la agricultura es milenaria; sin embargo, paulatinamente fue experimentando un decrecimiento considerable, probablemente a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que producían mayores cosechas; actualmente el uso de fertilizantes químicos se hace cada vez más costoso por su elevado precio, lo cual genera a los agricultores gastos económicos notables. Por el contrario, durante los últimos años se ha observado un creciente interés sobre la materia orgánica, habiendo experimentado su mercado un gran auge ligado al tema de los residuos orgánicos que encuentran así, una aplicación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Investigaciones en suelos aseguran que al aplicar materia orgánica y adicionar fertilizantes inorgánicos, aumentan los rendimientos, debido a que la descomposición de la materia orgánica libera ácido carbónico, que favorece la asimilación de ciertos nutrientes insolubles. Además, la materia orgánica ayuda a mantener los nutrientes en formas fácilmente asimilables, sin que se produzca en ningún momento una concentración excesiva.

En el presente trabajo se hizo una evaluación agroeconómica de diez programas de fertilización orgánico-mineral en el cultivo de frijol, con la finalidad de sentar las bases para generar tecnología que permita sustituir gradualmente el uso de fertilizantes químicos por abonos orgánicos, hasta lograr un equilibrio que permita cierta rentabilidad, sin menoscabo de los recursos naturales; en otras palabras, procurar una agricultura más sostenible que la actual; pero, sin causar una debacle económica, en las ya deterioradas condiciones de los productores rurales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Suelo y sus Componentes

El suelo es la capa de materiales minerales y orgánicos que cubre la superficie terrestre y en la cual las plantas se desarrollan y toman los alimentos necesarios. Está formado por sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso. La parte sólida es en su mayor parte mineral, formada por los residuos de la descomposición de la roca madre. Pero comprende siempre una fracción orgánica de una importancia esencial para la productividad del suelo. Esa fracción orgánica está constituida de plantas y animales vivos o muertos, así como de sus productos. El suelo entonces, es un organismo dinámico, un organismo “vivo” sujeto a permanentes cambios y evolución naturales (Shanti, 2014; FONCODES, 2014).

Cuando el equilibrio natural no es perturbado, los procesos se desarrollan con un ritmo tal que las remociones y modificaciones se equilibran en términos generales y finalizan con la formación de suelo nuevo, al cual la naturaleza le suministra procesos de defensa contra la erosión y degradación (FONCODES, 2014).

En la literatura se señala que el suelo es un cuerpo que está integrado por cuatro componentes principales: mineral (45%), orgánico (5%), líquido (agua 25%) y gaseoso (25%). Los porcentajes anteriores indican una composición hipotética ideal para el buen crecimiento de las plantas. Un suelo sin materia orgánica carece de energía, buena estructuración, presencia de cargas negativas dependientes de pH y actividad microbiana, que juntos le imparten al suelo la dinámica de un proceso físico, químico y biológico (Ruíz-Figueroa, 2009).

2.2 Ciclo del Carbono

El carbono es elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, pues todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbonos enlazados entre sí. El ciclo del carbono es fundamental, porque de él depende la

producción de materia orgánica, que es el alimento básico de todos los seres vivos (Brady y Weil, 2000).

La reserva fundamental de carbono se encuentra como CO_2 , el cual puede ser asimilado por las plantas. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0.03% y cada año aproximadamente un 5% de estas reservas de CO_2 se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir, que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 20 años (Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, 2001).

La vuelta de CO_2 a la atmósfera se hace cuando en la respiración los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO_2 . En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles. Los seres vivos acuáticos toman el CO_2 del agua. La solubilidad de este gas en el agua es muy superior a la de otros gases, como el O_2 o el N_2 , porque reacciona con el agua formando ácido carbónico (Brack y Mendiola, 2003).

El carbono está almacenado en el aire, en el agua y en el suelo en forma de dióxido de carbono (CO_2). Este CO_2 está disponible en cantidades abundantes en el medio, ya que a través del proceso de la respiración aeróbica, se utiliza la glucosa como combustible y es degradada, liberándose el carbono en forma de CO_2 a la atmósfera. Por lo tanto, en cada nivel trófico de la cadena alimentaria, el carbono regresa a la atmósfera o al agua como resultado de la respiración (Brack y Mendiola, 2003; Lenntech, 2002).

Las plantas toman el carbono del CO_2 del aire y con la energía de la luz del sol producen alimentos (glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, etc.), y liberan oxígeno (O_2). En el ciclo del carbono las plantas juegan el rol más importante y una gran parte de la masa de las plantas está conformada por compuestos de carbono como lo son azúcares, almidones, celulosa, lignina y otros compuestos diversos (Moron, 1994).

Los animales herbívoros se alimentan de estas plantas y usan los compuestos orgánicos para vivir y formar su propia materia. Los carbohidratos (azúcares, almidón, celulosa, lignina, y otros) son descompuestos por los herbívoros por procesos químicos en las células y forman el

combustible de su cuerpo. Este proceso se inicia con la respiración, o sea la toma de oxígeno del aire o del agua. Con el oxígeno se descomponen los azúcares y se emite CO_2 al aire o al agua, con producción de diversas formas de energía, especialmente calor. De esta forma el carbono pasa a formar parte de ellos en forma de proteínas, grasas e hidratos de carbono (Lenntech, 2002).

Los animales carnívoros toman la materia de otros animales por la alimentación. Absorben los componentes de los animales por el proceso digestivo y los descomponen en las células con ayuda del oxígeno que respiran (del aire o del agua) y emiten CO_2 al aire o al agua (Brack y Mandiola, 2003; Brady y Weil, 2000).

La descomposición de las plantas y de los animales al morir restituye el carbono al medio en forma de CO_2 y materia orgánica, que son aprovechados por otras plantas para reiniciar el ciclo. Los organismos vivos que se encargan de esta descomposición son esencialmente bacterias y hongos. También desprenden CO_2 los desechos del metabolismo de las plantas y animales, así como los restos de organismos muertos que se descomponen por la acción de ciertos hongos y bacterias (Lenntech, 2002).

2.2.1 Relación carbono y materia orgánica. El carbono aparece en los suelos como elemento constitutivo de sustancias orgánicas e inorgánicas. Donde el perfil está sujeto al lavado predominan las formas orgánicas, mientras que bajo condiciones áridas el contenido mayor puede corresponder al carbono inorgánico de los carbonatos. Entre los constituyentes de la materia orgánica del suelo (MOS) hay un subgrupo muy importante que son los hidratos de carbono (HC), los que están constituidos por moléculas relativamente pequeñas, que se encuentran libres o asociadas a estructuras moleculares mayores. Ellos, por ser las estructuras menos complejas de la MOS, presentan un reciclaje bastante rápido. Los HC de los suelos constituyen alrededor de 5 a 25% de la MOS, y en su mayoría provienen de la descomposición de residuos orgánicos, tanto animales como vegetales (Stevenson, 1982; citado por Borie, Aguilera, Peirano y Caiozzi, 1995).

Según Brady y Weil (2000), el carbono es el constituyente común en toda materia orgánica. Como consecuencia, sus movimientos durante la digestión microbiana de los tejidos son

extraordinariamente significativos. Mucha de la energía adquirida por la fauna y flora en el suelo viene de la oxidación del carbono. Como resultado, su anhídrido es desalojado continuamente y en grandes cantidades, y cuando está en contacto con el agua, se transforma en ácido carbónico. A pesar de ser el ácido carbónico un ácido muy débil, desprende bastante cantidad de H activo influyendo en las reacciones de muchas soluciones del suelo. Su acción disolvente sobre la caliza (CaCO_3) es importante al remover este mineral de los suelos de las regiones húmedas.

Según Fassbender (1987), los valores de C se expresan en porcentaje y por lo tanto la materia orgánica también, ya que se multiplica el % C por el factor convencional de Van Vammelen, que corresponde a 1.724 (algunos autores prefieren utilizar un factor de 1.8). El uso de este factor se ha generalizado en la consideración de que la materia orgánica del suelo contiene un promedio de 58% de C.

Según Sánchez (2003), el agotamiento rápido del carbono orgánico de la capa arable, a razón de 5 a 10% anual, produce efectos dañinos en los cultivos sin fertilización, por lo que muchos investigadores tratan de reducir las pérdidas de materia orgánica.

2.3 Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica de los suelos puede ser viva, como microorganismos (bacterias, hongos u otros elementos unicelulares) o muerta en descomposición, de procedencia animal o vegetal; la consolidación de estas materias forman lo que se denomina humus, que no es igual en diferentes suelos e incluso en diferentes zonas de una misma parcela (Sánchez, 2003).

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción de la microbiota del suelo son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la disponibilidad de macro y micronutrientes (Molina, 2011).

2.3.1 Componentes de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo contiene varios materiales cuyas cantidades varían de acuerdo con la clase de residuos (de plantas o animales) y de su estado de descomposición. Los más comunes son: a) carbohidratos, que incluyen azúcares, almidones, celulosas, y otros; constituyen 1 al 28% de la materia orgánica; b) proteínas, aminoácidos y otros derivados nitrogenados; c) grasas, aceites y ceras; d) alcoholes, aldehídos, cetonas y otros derivados oxidados inestables; e) ácidos orgánicos (ácido acético, que puede alcanzar 1 mili-equivalente por cada 100 g de suelo); f) minerales como calcio, fósforo, azufre, hierro, magnesio y potasio; g) productos diversos de gran actividad biológica como hormonas, enzimas, antibióticos, así como otras sustancias muy activas en pequeñas concentraciones (Sánchez, 2009).

2.3.2 Importancia de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica presente en el suelo, ejerce efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Con relación a las propiedades físicas, la acción de la materia orgánica en este aspecto se ve reflejada tanto en características reconocibles a simple vista, así como en otras en que el efecto no es tan claro, pero no por esto menos importante (Zagal, Rodríguez, Vidal y Flores, 2002).

La descomposición de la materia orgánica contribuye directamente a establecer una mayor y mejor agregación del suelo, afectando por tanto la estructura de éste y a través de ella la infiltración, permeabilidad y por ende el drenaje del suelo. Además de esto la materia orgánica también afecta directamente el desarrollo de raíces y evita la erosión. Estas y otras características que afecta la materia orgánica del suelo se mencionan a continuación: (Zagal, *et al.*, 2002; Brady y Weil, 2000; Rojas, 2005; Valdés, 2003)

- La estructura del suelo, respecto a la cual se debe señalar que favorece la formación de agregados individuales, reduce la agregación global del suelo y disminuye la plasticidad del mismo. Además, mejora la infiltración del agua, reduce las pérdidas por evaporación y mejora el drenaje en suelos de textura fina.

- Al oscurecer el suelo, en climas templados, fomenta su calentamiento y, por ende promueve una mejor germinación y el aprovechamiento más fácil del agua.
- Los coloides orgánicos ayudan a retener el agua en suelos arenosos, aunque su influencia es menos pronunciada en otros.

Con relación a las propiedades químicas, en el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo se liberan nutrientes a través de las reacciones de intercambio. Además, el CO₂ liberado por los microorganismos y la producción de ciertos ácidos orgánicos aumenta la solubilidad de ciertos minerales, principalmente K, Ca y Mg.

Los principales procesos químicos en que interviene en forma relevante la materia orgánica se mencionan a continuación: (Brady y Weil, 2000; Rojas, 2005; Valdés, 2003)

- La estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador.
- La apreciable contribución a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, especialmente en suelos de textura arenosa o en suelos antiguos con arcillas de reducida capacidad de cambio.
- Los fenómenos de adsorción, entre los cuales son de particular importancia la inactivación de plaguicidas y la fijación de fósforo.
- Los ácidos húmicos de la materia orgánica afectan directamente los minerales del suelo y aceleran su descomposición.

Con relación a las propiedades biológicas, en cuanto a los factores biológicos, conviene distinguir entre los que tienen efectos benéficos y los perjudiciales para las plantas. La materia orgánica influye sobre la producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importantes para la vida microbiana del suelo, así como la participación en procesos pedogenéticos, debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelatos y otros (Brady y Weil, 2000).

Entre los efectos benéficos se destacan los factores que fomentan el crecimiento, la materia orgánica es fuente de nutrientes, tanto para los organismos superiores como para los inferiores (Brady y Weil, 2000).

Se ha señalado el efecto de la materia orgánica sobre el equilibrio de la flora microbiana del suelo, lo que se expresaría en una mayor resistencia a enfermedades y plagas del mismo. Esta materia orgánica es también la fuente energética de los organismos por sus compuestos de carbono, aunque dichos organismos del suelo no son capaces de utilizar más que una pequeña cantidad de esta energía, por lo cual el resto se mantiene en los residuos o se disipa en forma de calor (Rojas, 2005).

En zonas templadas cubiertas con vegetación natural, lo normal es que los horizontes superiores tengan unos porcentajes de materia orgánica variables entre 2.5 y 10%, cifras inferiores pueden corresponder a condiciones climáticas de gran aridez y en consecuencia poca vegetación. Por el contrario, cifras muy superiores implican generalmente dificultades para los procesos de mineralización por causa de excesiva acidez o de hidromorfía. En zonas cálidas y lluviosas, a pesar de que la vegetación natural presente un marcado desarrollo, es normal que los porcentajes de materia orgánica sean muy bajos debido a la enorme rapidez de mineralización (Gandullo, 2000).

2.3.3 Origen y composición de la materia orgánica del suelo. El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de distinto origen, entre estos, restos de las plantas superiores que llegan al suelo de dos maneras: se depositan en la superficie (hojas, ramas, flores, frutos) o quedan directamente en la masa del suelo (raíces al morir). Otras dos fuentes importantes son el plasma microbiano y los restos de la fauna habitante del suelo (Meléndez, 2003).

Basándose en lo anterior, se considera a la materia orgánica del suelo (MOS) como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal, parcial o completamente descompuestos, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de

microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer (Meléndez, 2003).

Inmediatamente después de la caída de los materiales al suelo y muchas veces antes, comienza un rápido proceso de transformación por parte de los macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. El proceso de descomposición está acompañado de la liberación de CO₂ y de los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos (Meléndez, 2003).

Del 75 – 90 % de los restos orgánicos están constituidos por agua. Una fracción pequeña de MOS está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas y otros, y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas. Los ácidos húmicos son moléculas más grandes y complejas que los ácidos fúlvicos, además presentan contenidos más altos de N, pero menor de grupos funcionales (Meléndez, 2003).

2.3.4 Calidad de la materia orgánica del suelo. Se establecen tres tipos de materia orgánica, de acuerdo al estado de la misma:

La materia orgánica humificada, esta forma de materia orgánica corresponde a polímeros orgánicos de cadenas largas que se encuentran altamente estabilizadas con la fracción arcillosa, formando compuestos órgano-metálicos muy estables y poco accesible al ataque de la microflora bacteriana del suelo, por lo tanto su aporte de nutrientes es muy bajo (INIA, 2012).

La materia orgánica estabilizada, esta fracción se caracteriza por estar formada por sustancias orgánicas de cadenas de tamaño intermedio, moderadamente estabilizadas, susceptibles de ser atacadas por la biomasa microbiana del suelo, por lo que aporta cantidades importantes de elementos nutritivos al suelo (INIA, 2012).

La materia orgánica activa, corresponde a la fracción más débil de la materia orgánica, fácilmente mineralizable por la microflora bacteriana del suelo. Este material está formado por compuestos orgánicos de bajo peso molecular, que tienen una gran velocidad de reciclaje (INIA, 2012).

Además de los factores que normalmente afectan la mineralización de la materia orgánica en el suelo, la mineralización de la materia orgánica de los compost está alterada por otros factores intrínsecos a los materiales y los procesos. Por ejemplo, Castellanos y Pratt (1981) hallaron tasas de mineralización de nitrógeno de 17% durante 40 semanas de compostaje de estiércoles, mientras que Hadas y Portnoy (1994) hallaron una tasa del 10% durante 32 semanas también en compost de estiércoles.

Hartz, Mitchell y Giannini (2000) hallaron tasas de sólo el 7% para este tipo de compost por un período de 12 semanas y para compost a partir de residuos vegetales hallaron una tasa del 1% durante el mismo tiempo. Ampliando la variabilidad, Douglas y Magdoff (1991) hallaron una inmovilización por 67 días en compost de estiércoles. Hartz *et al* (2000), encontraron una correlación altamente significativa entre la tasa de mineralización de nitrógeno y los contenidos iniciales de éste elemento. Así mismo, Robertson y Morgan (1995) determinaron que a mayor edad del compost era menor la tasa de mineralización.

Con relación a la mineralización de nutrientes de la materia orgánica, cuando son agregados restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos del suelo transforman los compuestos complejos de origen orgánico en nutrientes en forma mineral que son solubles para las plantas; pero este proceso es lento, por lo tanto la materia orgánica no representa una fuente inmediata de nutrientes para las plantas, sino más bien una reserva de estos nutrientes para su liberación lenta en el suelo (Molina, 2011).

Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo, y azufre. Los nutrientes son secuestrados en y liberados de la materia orgánica por dos procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). Para un mejor entendimiento de estos procesos es necesario mencionar

conceptos como mineralización e inmovilización. La mineralización incluye un conjunto de procesos por medio de los cuales el N, P, entre otros, en combinación con la materia orgánica son transformados a moléculas inorgánicas de constitución más simple (Meléndez, 2003).

Generalmente más del 95% del nitrógeno y entre el 20-75% del fósforo están en la materia orgánica. El contenido de fósforo es similar al de azufre, pero más variable debido a cierta independencia de su ciclo relativo al carbono, nitrógeno y azufre. La dinámica del nitrógeno, fósforo y azufre en la materia orgánica es el resultado de múltiples e importantes mecanismos y procesos donde: la biomasa microbiana actúa como sumidero y fuente importante de nutrientes; el proceso de descomposición es a la vez un proceso de síntesis microbiana; la mineralización e inmovilización ocurren simultáneamente; una fracción de la materia orgánica y los nutrientes reciclan rápidamente; otros componentes reciclan lentamente (Meléndez, 2003).

Paralelamente la adición de residuos orgánicos está acompañada de un incremento en la población microbiana, estas poblaciones requieren nitrógeno para hacer posible el crecimiento de la biomasa microbiana. Al tomar el N necesario para su crecimiento, la flora microbiana baja los niveles de NO_3 y NH_4 disminuyendo la disponibilidad de N para los organismos nitrificantes y para las plantas, esto se conoce como inmovilización (Meléndez, 2003).

2.3.5 Pautas de manejo de la materia orgánica del suelo. La intervención en el sistema suelo por la producción agropecuaria, la explotación de la biota, así como eventos naturales extremos, pueden reducir o reducen gradualmente la cantidad de materia orgánica en los suelos. Sin embargo, es posible mantener e incluso aumentar un nivel dado de carbono orgánico en el suelo mediante una gestión o manejo adecuado del mismo (Docampo, 2012).

El mantenimiento de la materia orgánica del suelo es un proceso clave relacionado con la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas, especialmente para los que están en suelos frágiles y manejados por agricultores de pocos recursos. Como se mencionó anteriormente, la importancia de la materia orgánica descansa en su contribución a la capacidad de intercambio catiónico del suelo y, por ende, en la retención de los nutrientes, su función

como una fuente importante de nitrógeno y fósforo, y su rol en el mantenimiento de la agregación, estructura física, y retención del agua del suelo (Meléndez, 2003).

Cambios en el medio ambiente del suelo pueden resultar en una disminución rápida de la materia orgánica, resultando especialmente en suelos meteorizados, en la disminución de la productividad. Además, su pérdida contribuye al enriquecimiento atmosférico del carbono y al efecto invernadero asociado con la conversión de los bosques tropicales a otras formas de uso. Puesto que los agricultores pobres tienen poco acceso a los insumos químicos que se requieren para mantener la productividad de su terreno, el manejo adecuado de la materia orgánica adquiere suma importancia para la viabilidad continua de tales sistemas. Sin embargo, el conocimiento sobre cómo se pueden mantener o renovar los niveles de materia orgánica del suelo a través de la adición de insumos orgánicos es incompleto (Meléndez, 2003).

Si el suelo tiene poca cantidad de materia orgánica o su nivel desciende por algún factor, la productividad del mismo disminuye; por lo tanto, es fundamental preocuparse por mantener e incluso mejorar el contenido de carbono orgánico en el suelo. En la producción agrícola es aconsejable: a) mantener en nivel mínimo el área con suelo descubierto; b) incorporar periódicamente carbono orgánico al suelo, tanto producido *in situ* como *ex situ*; c) realizar el menor número de laboreos posibles; d) procurar al máximo posible el reciclaje o utilización de toda la materia orgánica generada en el sistema de producción (Docampo, 2012).

La incorporación periódica de materia orgánica (restos vegetales, estiércol, abonos verdes, compost, y otros) al suelo para mejorar sus propiedades físicas permite reducir los problemas de erosión, compactación y encostramiento. Provoca un aumento de la actividad biológica, el incremento tanto de las poblaciones de la microfauna como de la mesofauna (principalmente lombrices) que redundará en la mejora de la porosidad del suelo y por tanto en su aireación (Docampo, 2012).

El manejo de residuos determina el ingreso de C al subsistema suelo. Mientras más residuos ingresan al sistema mayor es el ingreso de C y activación de la vida microbial del suelo. De esta forma las cantidades de materia orgánica de los suelos son dependientes de la cantidad de

residuos ingresados (Brady y Weil, 2000). Es así como el pool de carbono orgánico del suelo representa un equilibrio dinámico entre las ganancias y las pérdidas, por esto las conversiones de un ecosistema natural a uno agrícola provocan pérdidas de este carbono, las cuales serán aun mayores si exceden a los aportes. Esto estaría señalando que almacenar carbono atmosférico, incrementa el reservorio de carbono orgánico e inorgánico mediante un uso apropiado del suelo y aplicando prácticas de manejo agrícola recomendadas (Lal, 2004; citado por Garrido, 2005).

Brady y Weil (2000) dicen que bajo condiciones naturales, la materia orgánica producida por la vegetación es devuelta al suelo, no así en áreas bajo cultivo, donde el material vegetal es removido por acción del hombre o los animales.

Según estudios realizados por Zagal *et al.* (2002), los contenidos de carbono, en especial la parte correspondiente a la fracción liviana, presentaba una disminución a medida que la intensidad de uso era mayor a través del tiempo, especialmente cuando no existía una incorporación de la materia orgánica que es producida.

A continuación se nombrarán algunos de los manejos más comunes a realizar para mantener niveles adecuados de materia orgánica en el suelo (Brady y Weil, 2000):

- Se debe mantener un suministro continuo de materiales orgánicos al suelo, con la finalidad de conservar un nivel apropiado de materia orgánica en éste. Dicho suministro debe provenir principalmente de residuos vegetales, estiércoles, compost, y otros desechos orgánicos que sean aprovechables por el suelo.
- El máximo crecimiento de las plantas aumentará la cantidad de materia orgánica que se puede agregar al suelo desde los residuos de los cultivos. El crecimiento de estas plantas provee bajo y sobre el suelo residuos que son la principal fuente de materia orgánica para éste.
- La labranza acelera las pérdidas de materia orgánica por aumento de la oxidación de ésta y por erosión, por lo cual se debería limitar esta práctica al control de malezas y a la mantención de una adecuada aireación. Esto se podría lograr con prácticas conservacionistas.

- La vegetación perenne como praderas y especialmente sistemas naturales se deben fomentar cada vez que esto sea posible, ya que este tipo de sistemas ayuda a mantener y estabilizar niveles de materia orgánica dentro del suelo.

2.4 Humus

Según Nuñez (1981), en el suelo la materia orgánica se transforma, descompone o degrada hasta mineralizarse debido a la acción de microorganismos, todo este proceso natural da lugar a la humificación, proceso evolutivo mediante el cual a partir de la modificación de tejidos originales y de la síntesis de los organismos del suelo, se produce un conjunto de compuestos estables de color oscuro o negruzco, amorfos y coloidales, conocidos con el nombre de humus.

El humus tiene una reconocida capacidad adherente, hecho que permite la formación de agregados en el suelo, produciendo condiciones adecuadas para el desarrollo de la raíz y en general de la actividad orgánica, lo que es importante en suelos de textura arcillosa por aireación y drenaje y en los arenosos, donde la agregación evita en buena medida la lixiviación de arcillas, hacia horizontes más profundos, donde pudieran encontrarse menores cantidades de raíces absorbentes (Nuñez, 1981).

Para Guerrero (1990), el humus influye en la capacidad de un suelo para retener y poner a disposición de la planta tanto aniones como cationes. La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) está dada por los ácidos fúlvicos y húmicos, afectando de manera positiva la disponibilidad de nitrógeno (en su forma amoniacal), potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc. La capacidad de intercambio aniónico (CIA) está dada por las huminas y tiene influencia sobre la disponibilidad de nitrógeno (en su forma nítrica), fósforo, azufre, boro, molibdeno y cloro.

2.5 Generalidades sobre Fertilizantes

Los fertilizantes constituyen tecnologías de gran importancia en agro-ecosistemas modernos y el conocimiento de sus propiedades resulta una herramienta importante para optimizar su manejo en los sistemas agrícolas.

2.5.1 Definición de fertilizantes. Por fertilizante se entiende cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que suministra a las plantas uno o más de los elementos nutricionales necesarios para su normal crecimiento. Lo anterior supone que la condición indispensable para que un material se considere como fertilizante es doble: por una parte, debe contener uno o más de los nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y, por otra, la sustancia en cuestión, por su naturaleza y propiedades específicas, debe estar en capacidad de ceder estos elementos a las plantas, es decir, debe contenerlos en estado aprovechable (Guerrero, s.f.)

2.5.2 Expresión del contenido nutricional. En la actualidad la mayoría de los países aceptan que los contenidos nutricionales de los abonos se expresan en términos de nitrógeno elemental (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O). Los elementos secundarios y los microelementos se expresan usualmente en términos de base elemental; sin embargo, el calcio y el magnesio son expresados frecuentemente como óxidos. Este sistema de expresión es utilizado internacionalmente, en particular en el ámbito comercial. Sin embargo, es completamente convencional y arbitrario. Las siglas utilizadas no están relacionadas con ninguna característica del abono. Así, el hecho de expresar el contenido de nitrógeno como N elemental, no debe interpretarse en el sentido de que ese sea el estado químico del elemento en el abono: lo propio es aplicable al resto de los nutrientes. En el ámbito científico, se tiende en la actualidad a utilizar la expresión elemental para todos los nutrientes (Guerrero, s.f.).

2.6 Fuentes de Nutrientes para los Cultivos

2.6.1 Fertilizante químico mineral. Es un producto manufacturado que contiene cantidades substanciales de uno o más de los elementos esenciales primarios. El proceso de producción industrial envuelve usualmente reacciones químicas, pero también puede consistir simplemente en la refinación de las fuentes fertilizantes naturales, tal es el caso del cloruro de potasio (Guerrero, s.f.; Saña, Moré y Cohí, 1996).

Se denomina fertilizante simple al abono que contiene solamente uno de los tres elementos esenciales primarios, tal es el caso de la urea, el superfosfato triple o el cloruro de potasio (Guerrero, s.f.).

Fertilizante compuesto es el abono que contiene más de uno de los tres elementos esenciales primarios. Los fosfatos de amonio, por ejemplo, son fertilizantes compuestos, ya que contienen fósforo y nitrógeno. Sin embargo, en algunos países estos fertilizantes se consideran erróneamente simples (Guerrero, s.f.).

El fertilizante de mezcla física, es el compuesto resultante de la simple mezcla física o mecánica de dos o más materiales, sin que medie reacción química alguna. Así por ejemplo, de la mezcla de fosfato diamónico y cloruro de potasio, en proporción 83.3% y 16.7%, respectivamente, resulta el fertilizante compuesto de grado 15-38-10 (Guerrero, s.f.).

Se define como fertilizante complejo al abono compuesto resultante de la reacción química de ingredientes o materias primas. Normalmente, la producción de este tipo de abonos requiere de un montaje industrial relativamente complicado, de donde resulta la denominación de complejo, que recibe el producto resultante. En esencia, el fertilizante complejo difiere del mezclado en el hecho de que, en aquél, cada una de sus partículas presentará la misma composición, en términos de N, P_2O_5 y K_2O . Por el contrario, la composición de una partícula en un fertilizante compuesto producido mediante mezcla física será la del ingrediente de la mezcla al cual pertenece. Esta característica tiene trascendencia en lo relativo a los efectos del fenómeno de segregación (Guerrero, s.f.).

Los fertilizantes complejos o compuestos se caracterizan porque su elaboración se realiza por reacciones químicas entre materias primas procedentes de la industria química (ejemplo ácido sulfúrico, ácido fosfórico, y otros) y/o sus productos intermedios, a diferencia de las mezclas físicas, en las cuales las materias primas son fertilizantes simples (Gowariker, Krishnamurthy, Gowariker, Dhanorkkar y Paranjape, 2009).

Los fertilizantes complejos son la variante de producto más homogénea, donde cada gránulo contiene todos los nutrientes distribuidos uniformemente y de acuerdo con las especificaciones de la formulación. Estos productos pueden utilizarse en todos los cultivos agrícolas pero tiene mayor difusión en cultivos de alto valor, debido a que su precio por unidad de nutriente es más elevado (Gowariker, *et al.*, 2009).

2.6.2 Abono orgánico. El término abonos orgánicos incluye un grupo muy variado de materiales, a saber compost, lombricompost, bocashi, biofermentos, ácidos húmicos, coberturas, materiales sin proceso como gallinaza y boñiga, y otros.

Para el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria -OIRSA- (2001), abono orgánico es todo material orgánico aportado al suelo, con la intención de mejorar la disponibilidad de nutrientes, estructura, capacidad de retención de agua y capacidad de infiltración. Es el resultante de un conjunto de materiales biodegradados y ricos en nutrientes. Con la aplicación de abonos orgánicos, además de aportar nutrientes, se busca aumentar la actividad biológica en el suelo, mejorando de esta manera la calidad y cantidad de los microorganismos en el suelo.

Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol, purín); restos orgánicos del

procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos (basuras de vivienda, excretas); compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados (Borrero, 2008).

En su sentido más amplio, un abono orgánico es un residuo animal y/o vegetal más o menos transformado, que posee una cierta riqueza en materia orgánica y que usualmente también contiene elementos esenciales para las plantas (Saña *et al.*, 1996).

De acuerdo a Rynk (1992), abono orgánico es todo material de origen orgánico utilizado para fertilización de cultivos o como mejorador de suelos. Se incluyen dentro de los abonos orgánicos materiales como la gallinaza, la broza del café, coberturas como el kudzú o *Arachis*, compost y ácidos húmicos.

Los abonos orgánicos se clasifican en turba, estiércoles, abonos verdes, residuos de las cosechas, residuos orgánicos industriales, desechos orgánicos urbanos, compost, vermicompost y bocashi, entre otros (Ruiz-Figueroa, 2009).

De los estiércoles, en orden decreciente del valor nutricional, se cita al de origen humano, gallinaza, porqueraza, caprino, ovino, bovino y equino. Dentro de los abonos verdes se incluyen las leguminosas y no leguminosas, que se incorporan al suelo en estado verde 30 a 45 días antes de la siembra de un cultivo. Entre los residuos de las cosechas se incluyen los rastrojos y pajas, que son subproductos de un cultivo. Existe gran número de residuos industriales que se pueden utilizar como abonos orgánicos después de su compostaje. Estos son pulpa de café, bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.), aserrín, cachaza y orujo de la uva (*Vitis vinífera* L.). Entre los desechos orgánicos urbanos se puede considerar las aguas negras, sedimentos y basuras exentas de radioactividad y elementos potencialmente tóxicos, y de contaminantes en general (Ruiz-Figueroa, 2009).

Aun dentro del mismo tipo, los abonos orgánicos son muy variables en su composición química. Sin embargo, se puede apreciar que entre los tipos de abonos orgánicos existen diferencias, principalmente en el contenido de elementos esenciales. El contenido de nitrógeno en el estiércol vacuno varía de 1% a 3%, mientras que en el de gallinaza, de 2.5% a 5%, y se

observa la misma tendencia con la concentración de otros nutrimentos. En el caso de los compost y vermicompost, la concentración de los elementos esenciales dependerá mucho del manejo que se le haya dado durante el proceso de compostaje (Ruiz-Figueroa, 2009).

Los abonos orgánicos tienen propiedades que ejercen determinados efectos sobre el suelo, que hacen aumentar la fertilidad de éste. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades:

Con relación a las propiedades físicas, el abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes. El abono orgánico mejora la estructura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos, mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste, disminuyen la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica, aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega y retienen durante mucho tiempo el agua en el suelo durante el verano (De Paz, 2001; Estrada, 2003).

Respecto a las propiedades químicas, los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste, aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que se aumenta la fertilidad (De Paz, 2001; Estrada, 2003).

Con relación a las propiedades biológicas, los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios. Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente. Aumentan la macrofauna y la mesofauna del suelo. Protegen el ambiente, la fauna, la flora y la biodiversidad en general (De Paz, 2001; Estrada, 2003).

Para obtener un suelo con un alto nivel de productividad a largo plazo, el uso de los abonos orgánicos es indispensable. En comparación con los abonos químicos, no pueden resolver

inmediatamente una deficiencia nutricional específica y necesitan tiempo de preparación y descomposición, además de planificación. Pero por otro lado, mejoran a largo plazo el contenido de los nutrientes y la estructura del suelo, estabilizan el pH y fomentan un círculo natural de fijación, descomposición y liberación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos. Así mejoran la productividad de un terreno a largo plazo, sin grandes inversiones económicas (Martínez y Ramírez, 2000).

La importancia de los abonos orgánicos reside en que su aplicación al suelo mejora las características químicas, físicas y biológicas del mismo. Los abonos orgánicos mejoran el suelo sirviendo como depósito de carbono (58%) y nitrógeno en mayores cantidades, y de los elementos fósforo, hierro, calcio, potasio y magnesio y de otros que aparecen en baja concentración. Las principales funciones químicas de los abonos orgánicos son: permitir la más fácil asimilación de los minerales por las plantas; corregir en el suelo efectos perjudiciales por el sobre uso de fertilizantes y plaguicidas; incrementar la capacidad de intercambio catiónico; absorber y retener los componentes de los fertilizantes y nutrientes minerales del suelo para que sean más fácilmente aprovechados por las plantas; actuar como reguladores del pH del suelo (Mérida y Chang, 2012).

Referente a la mejora de las características físicas: aumentan el poder de retención de humedad en los suelos; disminuyen la pérdida del agua de escorrentía, mejoran la infiltración y reducen la erosión hídrica y la erosión eólica; fomentan la granulación de los suelos, con la cual se mejora la infiltración y la aireación; vuelven más compactos a los suelos sueltos y dan mayor porosidad y soltura a los muy duros o arcillosos (Mérida y Chang, 2012).

Con respecto a las características biológicas, la aplicación de abonos orgánicos al suelo no sólo es una fuente para almacenar alimentos, sino también un medio de vida para los microorganismos, los cuales son muy importantes en la vida y desarrollo para cualquier vegetal sobre el suelo. El suelo con materia orgánica suficiente se considera como una fábrica para producir vegetales. Esto se puede resumir en la forma siguiente: aumentan el contenido de microorganismos que proporcionan vida a la planta y al suelo, pues sirven como fuente de

energía; mejoran la fertilidad, pues al aumentar el contenido de microorganismos éstos controlan la cantidad de alimentos disponibles en el suelo (Mérida y Chang, 2012).

Otros beneficios notables de la materia orgánica, son los que tienen que ver con su influencia en la nutrición vegetal. Está ampliamente demostrado que la aplicación de abonos orgánicos incrementa la producción de los cultivos, inclusive cuando son aplicados en suelos que presentan altos contenidos de materia orgánica nativa (Jaramillo, 2002).

Estrada (2003) afirma que el efecto benéfico de la aplicación de abonos orgánicos, se debe al suministro inmediato de sustancias nutritivas, y al mejoramiento o mantenimiento de las condiciones físicas del suelo, tales como la granulación, la estabilidad estructural y la relación aire-agua. Es decir los abonos orgánicos son acondicionadores físicos del suelo de valor incalculable.

Los abonos actúan más lentamente que los fertilizantes pero su efecto es más duradero y pueden aplicarse más frecuentemente pues no tienen secuelas perjudiciales. Los abonos también calientan la tierra; en tierras donde no hay presencia orgánica suficiente, estas son frías y las plantas crecen poco y mal; por el contrario, en tierras porosas por la aplicación constante de abonos orgánicos, se tornan calientes y favorecen el desarrollo de las raíces, principal vía de nutrición de plantas y pastos (Cervantes, 1998).

Por su parte Farfán (2002), menciona las siguientes ventajas de los abonos orgánicos:

- El suelo se mantiene con más humedad promoviendo la producción de raíces.
- El suelo se mantiene más caliente que el expuesto a la intemperie.
- Adicionan humus.
- Aumentan también la presencia de lombrices, las cuales a su vez degradan la materia orgánica y dan mayor aireación al suelo.
- Aumentan la capacidad de intercambio catiónico.
- Operan como buffer impidiendo los cambios bruscos del pH.

- Mejoran la estructura del suelo.
- Gozan de propiedades supresoras de infecciones causadas por algunos hongos como *Fusarium* sp. *Rhizoctonia* sp. y *Pythium* sp.
- Reducen algunos compuestos orgánicos, de tipo organoclorado.

El compost se clasifica como un acondicionador del suelo más que como abono. Para ser clasificado como abono tendría que tener niveles más altos de nitrógeno, potasio y fósforo. El compost acabado agrega estos elementos y otros, pero es de efecto más lento que los fertilizantes químicos, y aumenta la disponibilidad de estos elementos en el suelo (Farfán, 2002).

El compost cumple un rol trascendental al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre. Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno. Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder tampón. Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción. Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas. Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos y arenosos. Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación. Reduce la erosión del suelo. Incrementa la capacidad de retención de humedad. Confiere un color oscuro en el suelo, ayudando a la retención de energía calorífica. Es fuente de energía, la cual incentiva a la actividad microbiana. Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana (Sierra y Rojas, s.f.; Meléndez, 2003).

La acción microbiana del compost hace asimilable para las plantas materiales inertes como fósforo, calcio, potasio, magnesio, así como micro y oligoelementos. Su riqueza en oligoelementos lo convierte en un fertilizante completo. Aporta a las plantas sustancias necesarias para su metabolismo. Se puede utilizar a altas dosis sin contraindicaciones, ya que no quema las plantas, ni siquiera las más delicadas. Además contiene hormonas, sustancias reguladoras del crecimiento y promotoras de las funciones vitales de las plantas. Está compuesto principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos (Sierra y Rojas, s.f.; Meléndez, 2003).

También agrega material orgánico al suelo, aumenta la permeabilidad de los suelos arcillosos y aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos, promueve el crecimiento de la raíz y crea espacios para el aire y el agua (Sierra y Rojas, s.f.; Meléndez, 2003).

En comparación con los fertilizantes químicos, los abonos orgánicos presentan las siguientes desventajas: a) no aseguran la restitución total de los elementos del suelo, extraídos por la planta; b) son de asimilación lenta, porque la mayoría de nutrimentos sufren transformaciones, para ser absorbidos por la planta; c) la variabilidad de su composición imposibilita al agricultor conocer la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio que agrega (Soto, 2001).

El uso de material orgánico no estabilizado puede tener efectos negativos, tales como la contaminación de acuíferos por la lixiviación de nitratos y la emisión de gases nitrogenados como el amoníaco y óxido nítrico. Respecto a la lixiviación de nitratos, Mahboubeh y Mohsen (2012) observaron que la cantidad de nitratos y amonio lixiviados debido a la aplicación al suelo de gallinaza y residuos de papa no estabilizados, puede representar pérdidas económicas y efectos ambientales negativos considerables. Por ejemplo, estos autores observaron que en un suelo franco arenoso, con aplicación de gallinaza, se lixiviaron 206.4 kg de N-nitrato por hectárea; mientras que en suelo arcilloso con aplicación de gallinaza se perdieron 454.3 kg de N-amonio por hectárea. No obstante, la aplicación de compost proveniente de residuos orgánicos municipales mostró la cantidad más baja de lixiviación y pérdida de compuestos nitrogenados vía nitratos y amonio.

Respecto a la emisión de amoníaco, Aneja, Blunden, James, Schlesinger, Knighton, Gilliam, Niyogi y Cole (2007), mencionan que 80% proviene de actividades agropecuarias, tales como manejo de estiércol de las explotaciones pecuarias y aviares, de la fertilización y las prácticas de manejo de fertilizantes.

Según Cáseres (1980), el estiércol proporciona sustancias nutritivas a las plantas y agrega materia orgánica al suelo. Diez toneladas de estiércol vacuno por hectárea, complementadas con 350 kilogramos de superfosfato simple al 20%, equivalen más o menos a una tonelada de fertilizante de grado 5-10-5.

Tisdale y Nelson (1982), determinaron que la aplicación de 8.5 toneladas por hectárea de estiércol vacuno, aportan de 2 a 5 toneladas de materia orgánica. Además, mencionan que en experimentos realizados en suelos arcillosos, el uso de abonos químicos ha sido tan efectivo como el estiércol para la producción de cultivos hortícolas.

La cantidad de abono a ser aplicado en los cultivos está condicionada principalmente por varios factores; por ejemplo la fertilidad original del suelo, el clima y la exigencia nutricional del cultivo. Para establecer una recomendación es necesario realizar validaciones para que cada agricultor determine sus dosificaciones individuales. Sin embargo, existen recomendaciones que establecen aporte de 30 gramos para hortalizas de hoja, 80 gramos para hortalizas de tubérculos o de cabezas como coliflor, brócoli y repollo, y hasta 100 gramos para tomate y chile dulce. No obstante, algunos productores de tomate y chile dulce han usado hasta 450 gramos fraccionado en tres partes durante el ciclo de desarrollo del cultivo. En todos los casos, el abono orgánico, una vez aplicado, debe cubrirse con suelo para que no se pierda el efecto (Tineo, 1994).

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal. La descomposición de estos residuos ocurre bajo condiciones de oxigenación, humedad y temperatura controlada, es realizada por diferentes organismos, entre ellos, lombrices, bacterias y hongos (Saña *et al.*, 1996; Acuña, 2003; FONCODES, 2014).

Es un producto con una gran variedad y densidad de microorganismos que sintetizan enzimas, vitaminas, hormonas, etc. y que repercuten favorablemente en el equilibrio biótico del suelo (Soto, 2001).

Al considerar el compost como un abono, es importante mencionar que la disponibilidad de nutrimentos (capacidad de ofrecer nutrimentos en forma asimilable para las plantas) va a variar mucho con el tipo de compost, dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje, y el grado de madurez del producto final. El estudio de Hartz *et al.* (2000), muestra el efecto de la variabilidad en los contenidos de nutrimentos de los compost sobre el N recuperado en el cultivo de *Festuca arundinacea* Shreb. Esta variabilidad ocasiona que

considerado como mejorador de suelos, el término compost puede utilizarse en forma genérica, pero como abono, se deben especificar la materia prima y el método de compostaje utilizado.

La preferencia en la utilización del compost como fuente de nutrimentos para los cultivos en lugar de residuos frescos como excretas de animales, se debe a la disminución de olores (Miller, 1993), efectos tóxicos sobre los cultivos, disminución en la contaminación de aguas y eliminación de patógenos y semillas de malezas que se logra con el compost (Rynk, 1992).

El vermicompost es un método que utiliza lombrices de tierra para consumir y procesar desechos orgánicos y convertirlos en un producto de uso agrícola (Coyné, 2000; Soto, 2001).

El lombricompost es un producto granulado, oscuro, liviano e inodoro; rico en enzimas y sustancias hormonales; posee un alto contenido de microorganismos, lo que lo hace superior a cualquier otro tipo de fertilizante orgánico conocido. El lombricompost incorporado al suelo cumple un rol trascendente, al corregir y mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del mismo (Tineo, 1994).

El lombricompost como cualquier otro abono, sirve para ser incorporado en los surcos de labranza mínima o en las terrazas. También puede ser utilizado en hoyos de plantación de cultivos anuales y perennes. Además, puede utilizarse en el establecimiento de viveros para las siembras de hortalizas. El mismo día que se aplica el abono se pueden sembrar las plantas, debido a que el abono está totalmente descompuesto y de ninguna manera afectará las semillas (Tineo, 1994).

2.7 Fertilización de los Suelos o de los Cultivos

2.7.1 Fertilización química o mineral. La fertilización química o mineral consiste en alimentar a las plantas directamente mediante su abastecimiento con sustancias nutritivas químico-sintéticas solubles en agua por medio de la ósmosis forzada (Sánchez, 2004). La fertilización mineral pretende lograr un aumento de la productividad del sistema agrícola

suministrando a las plantas algunos de los elementos esenciales que necesitan mediante productos químicos de síntesis (Saña, *et al.*, 1996).

El beneficio de los fertilizantes químicos, es que presentan una elevada concentración de nutrientes y una baja humedad, estos dos factores generan una reducción de los costos para el transporte, su aplicación y manejo de forma general. Su solubilidad presenta la ventaja de que los nutrientes están más rápidamente disponibles para las plantas, por otro lado, presentan la desventaja de que en condiciones de exceso de agua en el suelo, gran cantidad de estos nutrientes puede ser desaprovechada, ya sea por su erosión o lixiviación, contaminando a la vez las aguas superficiales y subterráneas. Este tipo de fertilizantes químicos no son considerados como mejoradores del suelo, sus efectos en este sentido pueden ser indirectos, a través del aumento de la producción de biomasa (Contreras-García, Acevedo-Sandoval y Cruz-Chávez, s.f.).

2.7.2 Fertilización orgánica. El objetivo de la fertilización orgánica es efectuar los aportes necesarios para que el suelo sea capaz, por medio de los fenómenos físico-químicos, de proporcionar a las plantas una alimentación suficiente y equilibrada (Sánchez, 2004).

La utilización correcta de los abonos orgánicos está sujeta a muchas más consideraciones que la de los fertilizantes minerales, dada su complejidad constitutiva. En primer lugar debe tenerse en cuenta que su materia orgánica podrá alterar el complejo de cambio y la estructura del suelo, así como las propiedades que se derivan de esta última (Saña *et al.*, 1996).

Otro aspecto a considerar es que su composición es muy irregular. El factor que más influye en ella es el origen del material. Asimismo su contenido en agua es muy cambiante, variando incluso dentro de un mismo material según la época del año. Todo ello conduce a que las cantidades de materia orgánica y de nutrientes incorporados al suelo con una misma masa de abono sean bastante inconstantes. Y por tanto, desde la perspectiva de una buena política de abonado sería conveniente someter estos productos a un análisis de composición antes de utilizarlos. Ahora bien, dado que en general esta práctica no suele ser viable o no existe la costumbre de realizarla, no queda otra solución que basar el cálculo del abonado en tablas de

composición media de abonos con un origen y unas características similares a las del material a emplear (Saña *et al.*, 1996).

En cuanto a los fertilizantes orgánicos, los nutrientes contenidos en ellos son originarios del mismo suelo agrícola, excepto en aquellos casos relacionados con los depósitos de turba y otros cuyas fuentes son procesos químico – biológicos. Para mantener una productividad competitiva las cantidades de abonos orgánicos a utilizar deben ser elevadas, como elevada es la extracción de nutrientes con la cosecha. Estos abonos son menos solubles, ponen los nutrientes a disposición de las plantas de manera más gradual. Al aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, pueden mantener mas nutrientes adsorbidos, reduciéndose por ende las pérdidas por su lixiviación (Contreras-García, *et al.*, s.f.).

Los abonos orgánicos pueden ser catalogados como mejoradores del suelo, ya que tienden a mejorar su estructura, lo que adecúa la infiltración de agua, facilita el crecimiento radical, posibilita una mejor aireación y contribuye al control de la erosión entre otros. Cabe señalar que para que los abonos orgánicos actúen como mejoradores, las cantidades que deben ser adicionadas al suelo anualmente, deben de ser elevadas (Contreras-García, *et al.*, s.f.).

2.7.3 Fertilización química-orgánica. En general los suelos han venido siendo trabajados por más de 50 años con prácticas tradicionales y con el uso de fertilizantes químicos en los últimos años. Estas prácticas en general han producido bajas considerables en el contenido de materia orgánica en los suelos, a tal grado que es imposible producir rendimientos económicos sin la aplicación de dosis elevadas de nutrimentos; pero en los últimos años los fertilizantes químicos no solamente han escaseado, sino que tienen precios prohibitivos para los agricultores (Rodríguez, 1988).

Los abonos y los fertilizantes, generalmente son considerados como sinónimos; los segundos son de origen mineral y fabricados por el hombre, y los primeros, son de origen orgánico, es decir, "fabricados" por procesos de transformación de la propia naturaleza. El uso de ambos debe de hacerse conjuntamente y no por separado (Cervantes, 1998).

Los abonos orgánicos no son substitutos de los fertilizantes sino complementarios de éstos y su origen es 100% de productos que antes tuvieron una forma de vida y ahora tienen otra, es decir, es materia viva: compostaje, humus, estiércol y toda clase de vida orgánica en descomposición como restos vegetales (hojas, ramas, etc.). Todos los abonos son fertilizantes pero los fertilizantes no son abonos. Fertilizar significa mejorar la fecundidad de la tierra (Cervantes, 1998).

La importancia fundamental de su necesidad en las tierras obedece a que los abonos orgánicos son fuente de vida bacteriana del suelo, sin la cual no se puede dar la nutrición de las plantas. Para aprovechar la aplicación de los minerales contenidos en los fertilizantes, las plantas requieren que se los den "listos" para asimilarlos, y esto solo es posible con la intervención de los millones de microorganismos contenidos en los abonos orgánicos que transforman los minerales en elementos "comestibles" para las plantas, de ahí la importancia de utilizarlos conjuntamente (Cervantes, 1998).

Dicho de manera concreta, sin abonos orgánicos no hay proceso alimenticio aunque se apliquen fertilizantes, y lo que es peor aún, si no son aprovechados los minerales adicionados de los fertilizantes, éstos se convierten en sales insolubles y lejos de ayudar al desarrollo de las plantas las deprime, abate y mata (Cervantes, 1998).

Investigaciones en suelos aseguran que al aplicar materia orgánica y adicionar fertilizantes inorgánicos, aumentan los rendimientos, debido a que la descomposición de la materia orgánica libera ácido carbónico, que favorece la asimilación por parte de las plantas, de ciertos nutrientes insolubles. Además, la materia orgánica ayuda a mantener los nutrientes en formas fácilmente asimilables, sin que se produzca en ningún momento una concentración excesiva de ellos (National Plant Food Institute, 1982; De Paz, 2001).

Con la utilización de los abonos orgánicos los agricultores pueden reducir el uso de insumos externos y aumentar la eficiencia de los recursos de la comunidad, protegiendo al mismo tiempo la salud humana y el ambiente.

2.8 Revolución Verde e Impacto Ambiental Causado por la Agricultura

Los beneficios de la llamada revolución verde son indiscutibles, pero han surgido algunos problemas; los dos más importantes son los daños ambientales y la gran cantidad de energía que hay que emplear en este tipo de agricultura. Para mover la maquinaria agrícola y transportar los productos agrícolas se necesita combustible; para construir presas, canales y sistemas de irrigación hay que gastar energía; para fabricar fertilizantes y pesticidas se emplea el petróleo (www.ceit.es./asignaturas/ecología).

La agricultura siempre ha producido un impacto ambiental fuerte. Hay que talar bosques, para tener suelo apto para el cultivo; hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos, etc. La agricultura moderna ha multiplicado los impactos negativos sobre el ambiente como la destrucción y salinización del suelo, la contaminación por plaguicidas y fertilizantes, la deforestación o la pérdida de biodiversidad genética. También se presentan algunos daños a la salud de los agricultores o de otras personas. Estos son problemas muy importantes a los que hay que hacer frente, para poder seguir disfrutando de las ventajas que la revolución verde ha traído. Los principales impactos negativos de la agricultura son: erosión del suelo, salinización y anegamiento de suelos muy irrigados, uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, agotamiento de acuíferos, pérdida de diversidad genética (www.ceit.es./asignaturas/ecología).

No todo el fertilizante que se aplica es utilizado por las plantas. Una vez en el suelo, los diferentes elementos liberados pueden ser absorbidos por las plantas, pueden ser lixiviados dentro del perfil del suelo por el agua en exceso, volatilizarse bajo condiciones especiales en el suelo (únicamente N como NH_3 , N_2O o N_2), inmovilizados en el suelo, o bien ser arrastrados junto con las partículas del suelo como parte del proceso de erosión. En el caso particular del N, P y K, la eficiencia de aplicación varía de 50 – 70% para N, < 30 – 50% para P y 60 – 80% para K. Esos valores de eficiencia deben ser tomados en cuenta a la hora de elaborar un programa de fertilización. Debe buscarse un uso eficiente de los nutrientes a fin de evitar la pérdida innecesaria de los mismos (Bertsh, 1998).

2.9 Cultivo de Frijol y su Importancia

Ortega (1991), Kohashi (1996), Jacinto, Hernández, Azpiroz, Acosta y Bernal (2002); Pérez, Esquivel, Rosales y Acosta (2002) y Serrano y Goñi (2004), han destacado las propiedades nutritivas que posee el frijol, de manera fundamental por su alto contenido en proteínas y en menor medida en carbohidratos.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes en la dieta diaria de los guatemaltecos, especialmente para familias de escasos recursos, ocupa a nivel mundial el tercer lugar como fuente de proteínas y sexto en calorías, aunque también es una fuente importante de minerales. En Guatemala, dentro de los granos básicos, el frijol ocupa el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que consume la población. El frijol se cultiva a nivel nacional, variando desde luego, el área de siembra, los rendimientos y las tecnologías de manejo de una región a otra (Villatoro, Castillo y Franco, s.f.).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición del Problema

El frijol negro es la principal fuente de proteína vegetal del guatemalteco. Junto con el maíz, es un componente básico en la dieta de la población, especialmente en el área rural. Dentro de los granos básicos, ocupa el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que se consume. Estimaciones del MAGA indican que un 80% de los productores de maíz y frijol están ubicados en áreas con mucha pobreza y distribuidos en todo el país. En estas zonas el uso prolongado de la tierra con el continuo cultivo, ha degradado las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, lo que ha impactado en la reducción del rendimiento. La fertilización del frijol se realiza sin un diagnóstico integral previo, y se basa en la aplicación empírica de fertilizantes químicos.

3.2 Justificación de la Investigación

La materia orgánica es indispensable para mantener la fertilidad del suelo. De ahí que su incorporación como abono es indispensable en los sistemas de producción. Esta práctica, en conjunto con otras, como: conservación de suelos, rotación y asociación de plantas, la diversificación de cultivos en el tiempo y en el espacio, aseguran el equilibrio en el sistema y, por lo tanto, una producción continua. El abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico (materia orgánica) y fertilizantes minerales ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y los fertilizantes minerales proveen los nutrientes que las plantas necesitan. Al aplicar materiales orgánicos al suelo, se promueve el crecimiento de raíces y la absorción de nutrimentos, con repercusión en el rendimiento. En comparación con los químicos, contienen bajas cantidades de nutrimentos; sin embargo, la disponibilidad de éstos es más constante durante el desarrollo del cultivo.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de programas de fertilización orgánico mineral en el cultivo de frijol arbustivo.

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la eficiencia de diferentes programas de fertilización orgánico mineral en el cultivo de frijol, por medio del número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso y rendimiento del grano.
- Determinar la tasa de retorno marginal para diferentes programas de fertilización orgánico mineral en el cultivo de frijol.

5. HIPÓTESIS

- Al menos uno de los programas de fertilización orgánico mineral a evaluar en el cultivo de frijol arbustivo, provocará diferencias en el número de vainas por planta, el número de granos por vaina, el peso y rendimiento del grano.
- Al menos con uno de los programas de fertilización orgánico mineral a evaluar en el cultivo de frijol arbustivo, se obtendrá una tasa de retorno marginal mayor.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del Área Experimental

La investigación se ejecutó en la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango. La misma está ubicada a 1,800 msnm, localizada a 14° 39' 38" latitud norte y 90° 49' 10" longitud oeste; a 56 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala, hacia el oeste. Se encuentra comprendida en la zona Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical, con una precipitación media anual de 1,200 mm, una temperatura media anual de 16 °C y una humedad relativa de 80% (López, 1998).

6.2 Material Experimental

El material experimental utilizado en la investigación fue el siguiente:

- a) Composta a base de basuras orgánicas (ver resultado del análisis químico en el anexo, tabla 10).
- b) Lombricompost (ver resultado del análisis químico en el anexo, tabla 10).
- c) Fertilizante químico fórmula 15-15-15
- d) Semilla de frijol arbustivo, variedad ICTA Altense (ciclo de 120 días).

En las tablas 11 y 12 se muestran los resultados de los análisis químico y físico practicados a una muestra del suelo donde se estableció el experimento.

6.3 Factor Estudiado

En la presente investigación se estudió un solo factor: programas de fertilización orgánico-mineral en el cultivo de frijol arbustivo.

6.4 Descripción de los Tratamientos

Se evaluaron diez tratamientos, los cuales se describen en la tabla 1.

Tabla 1
Tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamiento		Descripción	Observaciones
1	100% químico (Q)		60-60-60 kg de N- P ₂ O ₅ -K ₂ O por hectárea
2	75% Q + 25% composta de basura orgánica (CBO)		
3	50% Q + 50% CBO		
4	25% Q + 75% CBO		
5	100% CBO		2.0 t/ha
6	75% Q + 25% lombricompost (L)		
7	50% Q + 50% L		
8	25% Q + 75% L		
9	100% L		2.0 t/ha
10	Testigo absoluto		

Los tratamientos (programas de fertilización orgánico-mineral) se aplicaron en un 100%, previo a la siembra del frijol.

6.5 Diseño Experimental

Para la investigación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con diez tratamientos y seis repeticiones.

6.6 Modelo Estadístico

Para el análisis de los tratamientos del experimento se utilizó el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = variable de respuesta

u = media general del experimento

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (programa de fertilización orgánico-mineral)

B_j = efecto del j -ésimo bloque (j = de 1 a 6)

E_{ij} = error experimental

6.7 Unidad Experimental

Cada unidad experimental estuvo constituida por siete surcos de seis metros de largo cada uno. La distancia entre surcos fue de 0.70 metros. Las posturas se manejaron a una distancia entre ellas de 0.30 metros, colocando tres semillas en cada una. Como parcela neta se tomaron los cinco surcos centrales de cada unidad experimental.

6.8 Croquis de Campo

La distribución de los tratamientos en el campo se hizo como lo muestra la figura 1.

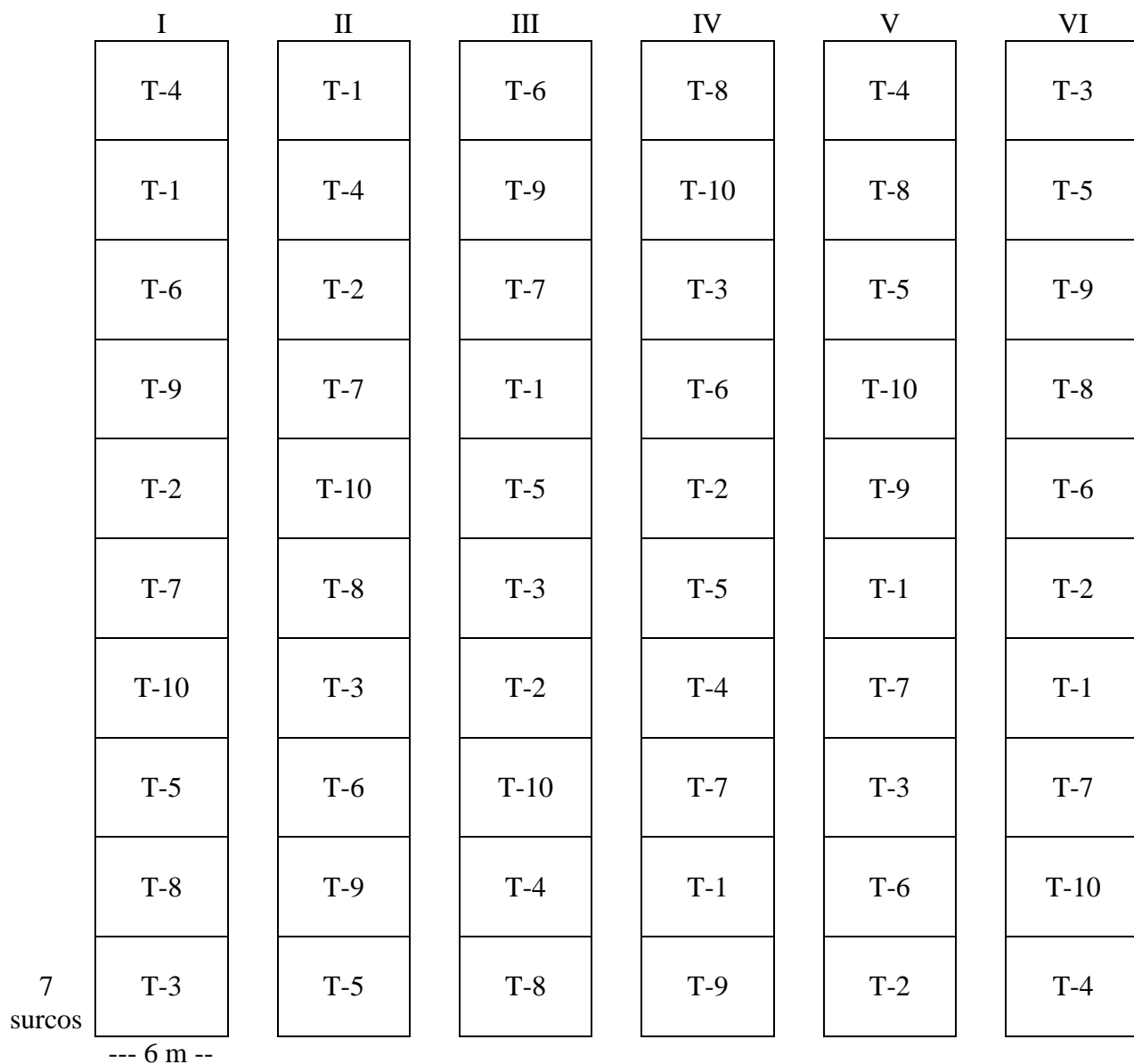


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo.

6.9 Manejo del Experimento

6.9.1 Preparación del terreno y trazo del experimento. La preparación del terreno fue mecanizada; con el fin de dejar una buena cama para la siembra, se hizo una labor de arado y luego dos pasadas de rastra, finalmente se realizó la labor de surqueado. Posteriormente se hizo el trazo del experimento, para ello se utilizó pita plástica y estacas de madera; se trazaron los

bloques y las unidades experimentales correspondientes, de acuerdo al diseño experimental. A continuación se abrieron los surcos, para hacer la incorporación del fertilizante químico y/o de los abonos orgánicos, de acuerdo al tratamiento respectivo. Es oportuno mencionar que durante el ciclo de cultivo (120 días) se hicieron tres aplicaciones de abono foliar (bayfolan forte), a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, con la finalidad de proporcionarle al cultivo los micronutrientes que necesita.

6.9.2 Siembra. La siembra se hizo en forma manual; se procedió a colocar posturas de tres semillas, a cada 0.30 m.

6.9.3 Control de malezas. Inmediatamente después de la siembra se aplicó el herbicida Afalón 50 wp (Linuron); durante el ciclo de cultivo se realizaron tres limpiezas manuales, con una frecuencia de 20 días entre cada una, iniciando 20 días después de la siembra. Esta labor se hizo de forma manual, con azadón.

6.9.4 Control fitosanitario. Periódicamente se realizaron muestreos de plagas, cuando los niveles de las mismas alcanzaron umbrales económicos, se procedió a aplicar productos químicos que permitieran controlarlas, tales como; Lambda-cihalotrina (Karate), Thiaclopid, beta cyfluthrin (Monarca); en total se hicieron cuatro aplicaciones durante el ciclo de cultivo. Así mismo, se aplicaron en dos oportunidades (primera y tercera aplicación de insecticidas), fungicidas preventivos y/o curativos, para controlar las enfermedades que normalmente atacan al frijol en la región del altiplano central, tales como Mancozeb (Dithane M-45 NT) y Boscalid + Piraclostrobin (Bellis).

6.9.5 Cosecha. La cosecha se realizó de forma manual, arrancando las plantas a los 120 días después de la siembra, éstas se sacudieron para desprender la tierra adherida a las raíces; esto facilitó la limpieza posterior del grano. Después de arrancadas, las plantas fueron expuestas al sol para finalizar su secado, el cual se hizo en un patio de cemento. Luego del secado se procedió al aporreo o trilla y limpieza del grano obtenido.

6.10 Variables de Respuesta

Para la evaluación se analizaron las variables de respuesta siguientes:

- a) **Vainas por planta (número):** se tomaron al azar diez plantas (muestreo aleatorio simple) de cada parcela neta y se procedió a retirarles y contar las vainas; posteriormente se obtuvo el promedio por planta.
- b) **Granos por vaina (número):** se tomaron al azar 50 vainas (muestreo aleatorio simple) de cada parcela neta y se procedió a retirarles y contar los granos; posteriormente se obtuvo el promedio por vaina.
- c) **Peso de 100 granos (g):** cuando el grano estuvo debidamente limpio y seco (12% de humedad), se procedió a tomar al azar 100 granos (muestreo aleatorio simple) y se les determinó su peso (g) en una balanza semianalítica.
- d) **Rendimiento de grano (kg/ha):** luego del aporreo, secado (12% de humedad) y limpieza del grano de cada unidad experimental, se procedió a pesar el mismo; los datos que se obtuvieron fueron proyectados para obtener los kg/ha de rendimiento de cada tratamiento, en cada repetición (bloque).
- e) **Costos e ingresos (Q.):** durante el periodo de investigación se llevaron registros de los costos variables en que se incurrió en cada tratamiento. Los ingresos fueron estimados con base al rendimiento de grano y el precio de mercado vigente en el momento de la cosecha.

6.11 Análisis de la Información

6.11.1 Análisis estadístico. El análisis se hizo a través de análisis de varianza (ANDEVAs); cuando se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos, se procedió a hacer las respectivas pruebas de medias (DGC). Para la variable rendimiento de grano también se hicieron

contrastes ortogonales, para comparar cada uno de los abonos orgánicos vrs el fertilizante químico; composta a base de basura orgánica vrs lombricompost; mezclas de químico + composta a base de basura orgánica vrs mezclas de químico + lombricompost; químico vrs testigo absoluto; composta a base de basura orgánica vrs testigo absoluto; lombricompost vrs testigo absoluto. Se hicieron además análisis descriptivos y gráficos.

6.11.2 Análisis económico. Durante el experimento se llevaron registros económicos, de tal forma de contar con la información necesaria para poder realizar un análisis económico. Específicamente se determinó la tasa de retorno marginal. Para ello se utilizó la técnica de presupuesto parcial.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis Estadístico

7.1.1 Vainas por planta. En la tabla 2 se presenta un resumen del análisis de varianza para la variable vainas por planta.

Tabla 2.

Resumen del análisis de varianza para la variable vainas por planta.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor "F"	p-valor
Bloque	202.46	5	40.49	4.19	0.0033 **
Tratamiento	79.97	9	8.89	0.92	0.5173 NS
Error	434.85	45	9.66		
Total	717.28	59			

CV = 12.57 %

** = diferencia altamente significativa NS = diferencia no significativa

Con base en los resultados, se infiere que no hubo diferencia significativa entre los programas de fertilización evaluados. Así mismo, el coeficiente de variación (12.57%) se considera apropiado para este tipo de experimento.

Con la finalidad de observar algunas tendencias, en la figura 2 se muestra el comportamiento específico de la variable vainas por planta en cada uno de los tratamientos evaluados.

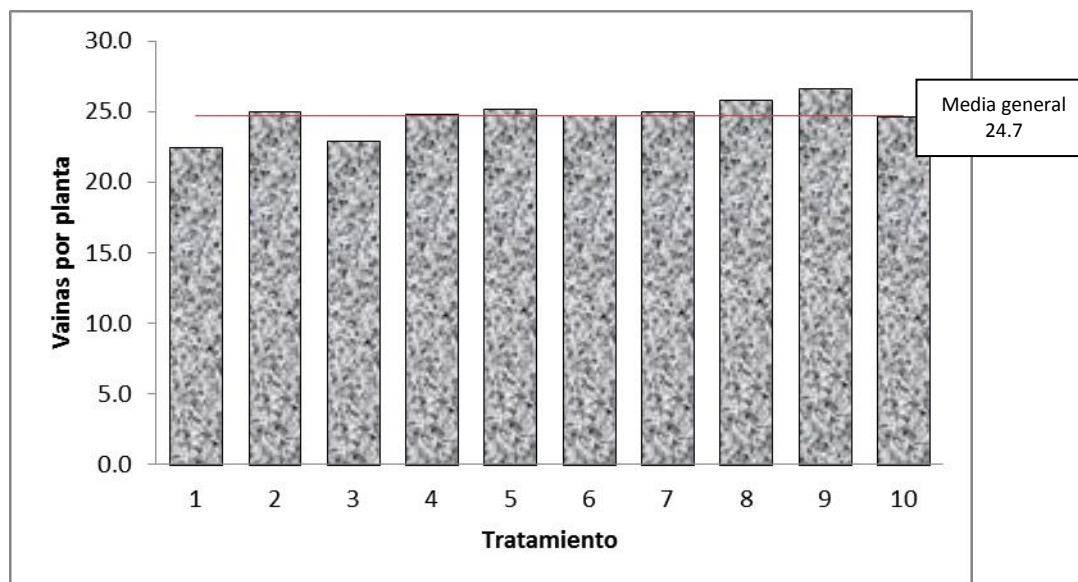


Figura 2. Vainas por planta con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.

Los tratamientos 9 (100% lombricompost), 8 (25% de químico + 75% de lombricompost), 5 (100% composta de basuras orgánicas), 7 (50% de químico + 50% de lombricompost) y 2 (75% de químico + 25% composta de basuras orgánicas), tienden a superar al valor promedio de esta variable (24.7), obtenido de los diez programas de fertilización evaluados.

7.1.2 Granos por vaina. Un resumen de los resultados del análisis de varianza realizado a los datos de la variable granos por vaina, se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Resumen del análisis de varianza para la variable granos por vaina.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor "F"	p-valor
Bloque	0.72	5	0.14	0.71	0.6183 NS
Tratamiento	1.22	9	0.14	0.67	0.7302 NS
Error	9.12	45	0.20		
Total	11.07	59			

CV = 6.77 %

NS = diferencia no significativa

Los resultados muestran que los programas de fertilización orgánico-mineral no afectaron significativamente al número de granos por vaina. El valor del coeficiente de variación (6.77%) se considera aceptable para este tipo de investigación.

En la figura 3 se muestra la expresión específica de esta variable en cada uno de los tratamientos evaluados.

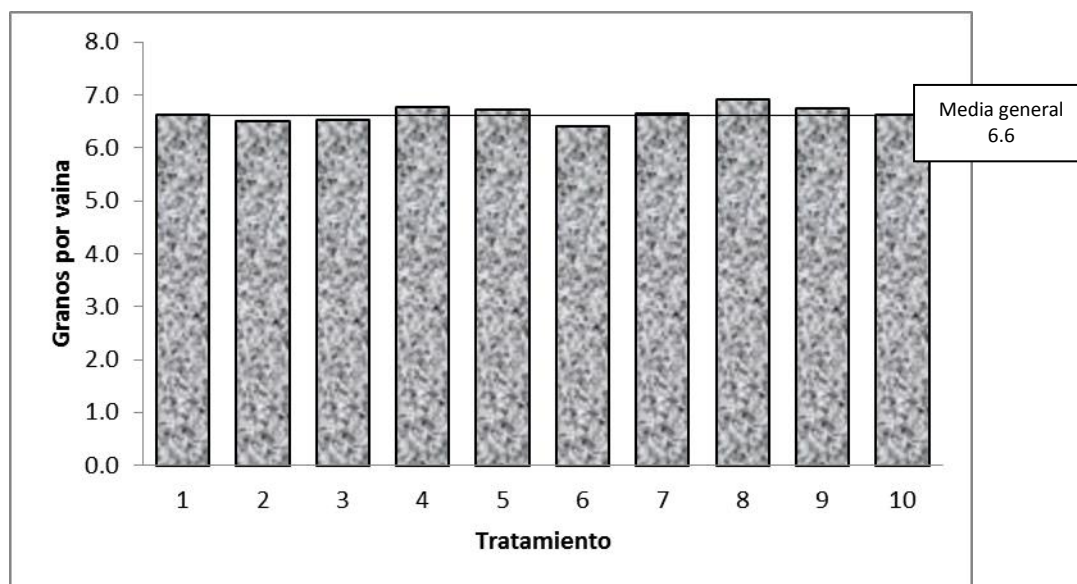


Figura 3. Granos por vaina con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.

Con base en la figura anterior, los programas de fertilización 8 (25% químico + 75% lombricompost), 4 (25% químico + 75% composta de basuras orgánicas), 9 (100% lombricompost) y 5 (100% composta de basuras orgánicas) tienden a superar al valor promedio de esta variable (6.6), obtenido de los diez programas de fertilización evaluados.

7.1.3 Peso de cien granos. Un resumen de los resultados del análisis de varianza para la variable peso de cien granos, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

Resumen del análisis de varianza para peso de cien granos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor "F"	p-valor
Bloque	5.53	5	1.11	2.20	0.0707 NS
Tratamiento	5.51	9	0.61	1.22	0.3084 NS
Error	22.64	45	0.50		
Total	33.69	59			

CV = 3.16 %

NS = diferencia no significativa

Con base en los resultados anteriores, la variable peso de cien granos no fue afectada significativamente por los programas de fertilización orgánico-mineral evaluados. El valor del coeficiente de variación (3.16%) se considera aceptable.

El comportamiento específico de esta variable en cada uno de los tratamientos evaluados se presenta en la figura 4.

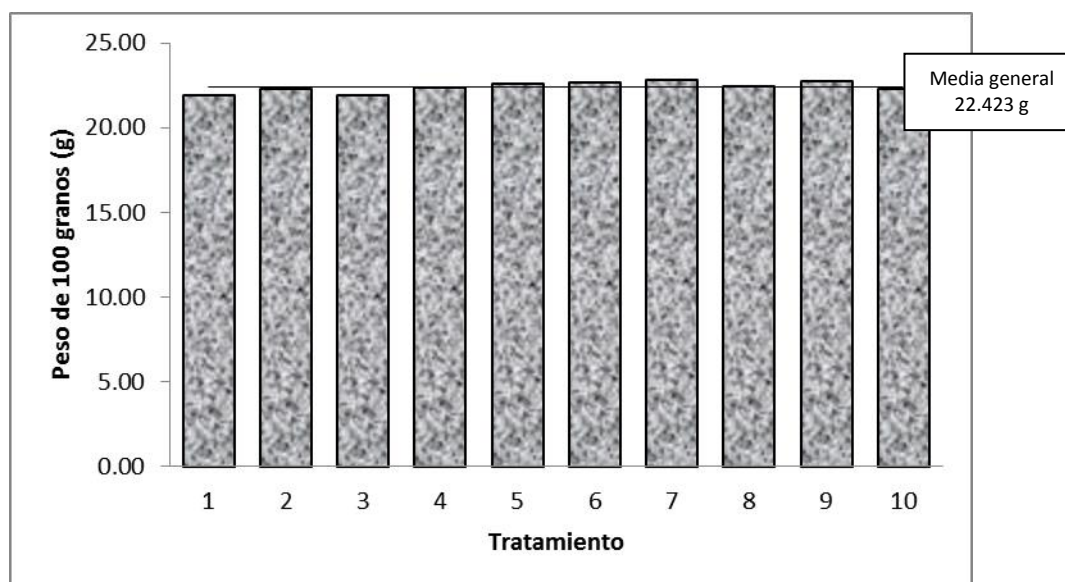


Figura 4. Peso de 100 granos (g) con diferentes programas de fertilización orgánico-mineral.

Los tratamientos 7 (50% químico + 50% lombricompost), 9 (100% lombricompost), 6 (75% químico + 25% lombricompost), y 5 (100% composta de basuras orgánicas), mostraron tendencia a superar al valor promedio de esta variable (22.42 g), obtenido de los diez programas de fertilización evaluados.

7.1.4 Rendimiento de grano. Con la finalidad de hacer comparaciones específicas entre dos tratamientos, o entre grupos de tratamientos, se plantearon contrastes ortogonales. Los resultados de los mismos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5
Contrastes ortogonales, con base en el rendimiento de grano.

Contraste *	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor "F"	Pr > F
Cbo vs químico	1	445802	445802	13.14	0.0007 **
Lomb vs químico	1	222129	222129	6.55	0.0139 *
Cbo vs Lomb	1	38564	38564	1.14	0.2920 NS
Cbo más químico vs Lomb más químico	1	1156	1156	0.03	0.8543 NS
Químico vs T.A.	1	36660	36660	1.08	0.3041 NS
Cbo vs T.A.	1	738142	738142	21.76	0.0001 **
Lomb vs T.A.	1	439269	439269	12.95	0.0008 **

* Cbo = composta de basuras orgánicas Lomb = lombricompost T.A. = testigo absoluto

Los resultados muestran que, para las condiciones (de clima y suelo) en que se desarrolló la presente investigación, las fuentes de materia orgánica aplicadas (composta de basuras orgánicas y lombricompost), provocaron rendimientos de grano similares, es decir, no se observaron diferencias significativas entre ambas. Un comportamiento similar se observó cuando se aplicaron mezclas de las fuentes orgánicas con fertilizante químico.

Por las condiciones de fertilidad del suelo utilizado en la investigación, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, testigo absoluto y 100% de fertilización química. Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre el testigo absoluto y la aplicación de cualquiera de las fuentes orgánicas (composta de basuras orgánicas y lombricompost), por lo que se infiere que las fuentes orgánicas modificaron de alguna manera el ambiente edáfico (principalmente en sus propiedades físicas y biológicas; así como en mejorar la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases, el contenido de magnesio y la cantidad de materia orgánica), lo que provocó una mejor absorción de los nutrientes presentes en el suelo, por parte de las plantas.

Por otra parte, los contrastes indican que el rendimiento de grano fue superior al aplicar cualquiera de las fuentes orgánicas, en comparación con el programa 100% de fertilización química, lo que como ya se mencionó anteriormente, se atribuye a una mejora en las propiedades del suelo, lo que permitió una mayor absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Para una visión general del grupo de tratamientos evaluados, en la tabla 6 se presentan un resumen de los resultados del análisis de varianza realizado a los rendimientos de grano obtenidos con los diferentes programas de fertilización orgánico-mineral evaluados.

Tabla 6
Resumen del análisis de varianza para rendimiento de grano (kg/ha).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor "F"	p-valor
Bloque	624219.87	5	124843.97	3.68	0.0071 **
Tratamiento	1169116.63	9	129901.85	3.83	0.0012 **
Error	1526630.75	45	33925.13		
Total	3319967.26	59			

CV = 5.77 %

** = diferencia altamente significativa

Los resultados muestran que existió diferencia altamente significativa, tanto entre bloques, como entre los tratamientos evaluados (programas de fertilización). Con base en ello, se hizo la respectiva prueba de medias, cuyos resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Prueba de medias (DGC) para rendimiento de grano (kg/ha).

Tratamiento	Media (kg/ha)	Grupo estadístico *
100% composta de basuras orgánicas (cbo)	3435.370	A
100% lombricompost	3322.000	A
25% químico + 75% lombricompost	3282.310	A
25% químico + 75% cbo	3270.980	A
50% químico + 50% lombricompost	3253.970	A
75% químico + 25% cbo	3174.600	B
50% químico + 50% cbo	3134.920	B
75% químico + 25% lombricompost	3078.230	B
100% químico	3049.890	B
Testigo absoluto	2939.340	B

Los resultados muestran que se formaron dos grupos estadísticos. En el primer grupo se ubicaron los programas de fertilización que incluyeron aplicar 100% de cualquiera de las fuentes orgánicas (composta de basuras orgánicas o lombricompost); así como la aplicación de 75% de cualquiera de estas fuentes con 25% de fertilizante químico. Un quinto tratamiento del primer grupo fue la aplicación de 50% de lombricompost más 50% de fertilizante químico.

El comportamiento anterior refuerza el hecho de que, para las condiciones edafoclimáticas en que se condujo la presente investigación, la aplicación de cualquiera de las fuentes orgánicas provocó un mejor ambiente edáfico para que las plantas pudieran absorber los nutrimentos más

eficientemente. Por el contrario, la aplicación de solo fertilizante químico no superó al testigo absoluto, debido a que según los resultados del análisis de suelo (cuadro 3), la mayoría de los nutrimentos se encontraban en niveles adecuados.

7.2 Análisis Económico

Con base en los registros económicos que se condujeron durante la investigación, en la tabla 8 se presentan en forma ordenada, de menor a mayor, los costos variables; así mismo los ingresos que se obtuvieron con cada uno de los programas de fertilización.

Tabla 8

Costos variables, ingreso bruto e ingreso neto (Q./ha) para los diez programas de fertilización orgánico-mineral.

Tratamiento	C.V. (Q./ha)	I.B. (Q./ha)	I.N. (Q./ha)
Testigo absoluto	0.00	25,863.20	25,863.20
100% composta de basuras orgánicas (cbo)	1,740.00	30,228.00	28,488.00
25% de químico + 75% cbo	2,019.96	28,784.80	26,764.84
50% de químico + 50% cbo	2,199.92	27,588.00	25,388.08
100% químico	2,359.84	26,840.00	24,480.16
75% de químico + 25% cbo	2,379.88	27,940.00	25,560.12
75% de químico + 25% de lombricompost	2,610.88	27,086.40	24,475.52
50% de químico + 50% de lombricompost	2,661.92	28,635.20	25,973.28
100% de lombricompost	2,664.00	29,233.60	26,569.60
25% de químico + 75% de lombricompost	2,712.96	28,881.60	26,168.64

Los costos variables se refieren a la compra de fertilizante químico u orgánico, así como la aplicación del mismo. Para el presente caso, el costo de una tonelada de composta de basuras orgánicas fue Q. 770.00; el de una tonelada de lombricompost Q. 1232.00; un kilogramo de fertilizante químico de fórmula 15-15-15 tuvo un costo de Q. 5.65 (Q. 256.80 por quintal). El costo de la aplicación del fertilizante químico fue de Q. 100.00 por hectárea; de cualquiera de las fuentes de abono orgánico, Q. 200.00 por hectárea; la aplicación de las mezclas de químico

más abono orgánico Q.300.00 por hectárea. Para el cálculo de los ingresos, se consideró el valor de mercado del grano de frijol en el momento de la cosecha, Q. 8.80 por kilogramo.

En la tabla 9 se presenta la tasa de retorno marginal, para los diez programas de fertilización evaluados.

Tabla 9

Tasa de retorno marginal (%) para los diez programas de fertilización orgánico-mineral.

Tratamiento	I.N. (Q.)	Criterio	Dif. IN	Dif. C.V.	TRM (%)
Testigo absoluto	25,863.20	ND			
100% composta de basuras orgánicas (cbo)	28,488.00	ND	2624.80	1740.00	151
25% de químico + 75% cbo	26,764.84	Dominado			
50% de químico + 50% cbo	25,388.08	Dominado			
100% químico	24,480.16	Dominado			
75% de químico + 25% cbo	25,560.12	Dominado			
75% de químico + 25% de lombricompost	24,475.52	Dominado			
50% de químico + 50% de lombricompost	25,973.28	Dominado			
100% de lombricompost	26,569.60	Dominado			
25% de químico + 75% de lombricompost	26,168.64	Dominado			

De acuerdo a la metodología para la obtención de la tasa de retorno marginal, únicamente dos tratamientos resultaron no dominados: a) testigo absoluto, y b) 100% de composta de basuras orgánicas.

Con base en lo anterior, se determinó que al pasar del testigo absoluto a la aplicación de 100% de composta de basuras orgánicas, el valor de la tasa de retorno marginal fue de 151%, por lo cual éste último tratamiento se considera conveniente para los productores que tengan la capacidad financiera de hacer inversión en esta práctica del cultivo.

8. CONCLUSIONES

- No se determinaron diferencias significativas entre los programas de fertilización evaluados, para las variables: número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso de cien granos. Sin embargo, los tratamientos 9 (100% de lombricompost) y 5 (100% composta a base de basuras orgánicas) mostraron tendencia a mejorar estos tres componentes de rendimiento; los tratamientos 8 (25% químico + 75% de lombricompost) y 7 (50% de químico + 50% de lombricompost), mostraron tendencia a mejorar al menos dos de estos tres componentes.
- Se determinaron diferencias significativas en el rendimiento de grano de frijol, entre los programas de fertilización evaluados. Los programas identificados como tratamientos 5 (100% composta a base de basuras orgánicas), 9 (100% lombricompost), 8 (25% químico + 75% de lombricompost), 4 (25% de químico + 75% composta a base de basuras orgánicas), y 7 (50% de químico + 50% de lombricompost) presentaron un rendimiento superior al resto.
- Con el tratamiento 5 (100% composta a base de basuras orgánicas), se obtuvo una tasa de retorno marginal de 151% (considerando solo costos variables) con respecto al testigo absoluto. El resto de programas resultaron dominados.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones similares con otras variedades de frijol arbustivo, y en suelos de menor fertilidad natural.
- Considerando que el precio comercial de la composta a base de basuras orgánicas es menor, se recomienda evaluar niveles superiores a dos toneladas por hectárea.
- Hacer evaluaciones durante dos o tres ciclos de cultivo consecutivos, para evaluar la tendencia de los rendimientos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, O. (2003). El uso de biofertilizantes en la agricultura. *En*: Meléndez, G. y Soto, G. (ed) Taller de Abonos Orgánicos. CANIAN/GTZ/UCR/CATIE. Sabanilla, Costa Rica pp 9.
- Aneja, V.; Blunden, J.; James, K.; Schlesinger, W.; Knighton, R.; Gilliam, W.; Niyogi, D.; Cole, S. (2007). Ammonia assesment from agriculture: status and national needs. *In*: Ammonia emission in agriculture. Eds. G. J. Monteny & E. Hartung, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 44-51.
- Bertsch, F. (1998). La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Borie, G.; Aguilera, S.; Peirano, P. y Caiozzi, M. (1995). Pool lábil de carbono en suelos volcánicos Chilenos. *Agricultura Técnica* 55 (3 – 4) 262 – 266.
- Borrero, C. (2008). Institución educativa La Torre Gómez del Municipio del El Retorno Guaviare Colombia (en línea). Recuperado el 15 septiembre 2017. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos_guaviare.htm
- Brack, A. y Mendiola, C. (2003). Ecología del Perú. El ciclo del Carbono (en línea) Recuperado el 15 de septiembre de 2017. Disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c2_t10.htm
- Brady, N. y Weil, R. (2000). *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, United States of America. 559 p.
- Cáseres, E. (1980). *Producción de hortalizas*. 3ª ed. San José, Costa Rica, IICA. 388 p.
- Castellanos, J. y Pratt, P. (1981). Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal*. 45: 354-357.
- Cervantes, M. (1998). Los abonos orgánicos. (en línea). Recuperado el 16 de septiembre de 2017). Disponible en http://infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm S/1
- Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. (2001). Ciclo del Carbono. (en línea) Recuperado el 10 de septiembre de 2017). Disponible en: <http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/I3ICicC.htm>
- Contreras-García, M.; Acevedo-Sandoval, O.; Cruz-Chavez, E. (s.f.). *Uso de abonos orgánicos e inorgánicos en un suelo ácido del Estado de Hidalgo*.
- Coyne, M. (2000). *Microbiología de Suelos: un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo. Madrid España 440 p

- De Paz, R. (2001). Producción de cultivos hortícolas. Print. Art., Quetzaltenango, Guatemala. 67 p.
- Docampo, R. (2012). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. INIA Las Brujas – Estación experimental “Wilson Ferreira Aldunate”, Uruguay. Serie Actividades de Difusión No. 687. Recuperado de www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf.
- Douglas, B. F. and Magdoff, F.R. (1991). An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *J. Environ. Qual.* 20:368–372.
- Estrada, J. (2003). Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Manizales: Ed. Universidad de Caldas, pp 167-188.
- Farfán, C. (2002). Caracterización de Fuentes Orgánicas para uso en sistemas de la Agricultura Urbana. Curso de continuación de estudios “Agricultura orgánica y Gestión en agronegocios” Monografía previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. La Habana – Cuba 2002 pp 17 – 33.
- Fassbender, H. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. San José. Costa Rica. 420 p.
- FONCODES- Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social. (2014). Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus. Proyecto “Mi Chacra Emprendedora–Haku Wiñay” Edic. Manual Técnico No. 5. Apurímac, Perú. 43 p.
- Gandullo, J. (2000). Climatología y ciencia del suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. 408 p.
- Garrido, E. (2005). Estudio de la capacidad de saturación de carbono en distintos grupos de suelos chilenos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Gowariker, V.; Krishnamurthy, V.; Gowariker, S.; Dhanorkkar, M. y Paranjape, K. (2009). The Fertilizer Encyclopedia. A. John Wiley & Sons, INC. 861 p.
- Guerrero, G. A. (1990). El Suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Mundi-Prensa S.A. Madrid, España. pp 58-73 204 p
- Guerrero, R. (s.f.). Propiedades Generales de los Fertilizantes Sólidos. Manual Técnico. Abonos Nutrimón. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Recuperado el 9 de octubre 2017. Disponible en: <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualfertilizacion.pdf>
- Hadas, A.; Portnoy, R. (1994). Nitrogen and Carbon Mineralization of Composted Manures Incubated in Soil. *Journal of Environmental Quality* 23: 1184-1189.

- Hartz, TK., Mitchell, JP., Giannini, C. (2000). Nitrogen and Carbon Mineralization. Dynamics of manures and compost. HortScience 35 (2): 209-212.
- Instituto Nacional de investigación Agropecuaria –INIA- (2012). La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. Recuperado de www.inia.cl. (Consultado 15 de septiembre de 2017).
- Jacinto, H.; Hernandez, S.; Azpiroz, R.; Acosta, G. y Bernal, L. (2002). Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. Agrociencia. 36(4): 451-459.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín. 613 p.
- Kohashi, S. J. (1996). Aspectos de la morfología y fisiología de *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Lenntech. (2002). Ciclo del Carbono. (en línea) Recuperado el 8 de octubre de 2017. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/ciclocarbono.htm>
- López, P. (1998). Determinación del agente que causa la lija en las vainas de arveja china. (*Pisum sativum* L). Altiplano central de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Universidad Rafael Landívar (URL). Guatemala
- Mahboubeh, Z.; Mohsen, J. (2012). Leaching of nitrogen and base cations from calcareous soil amended with organic residues. Environmental Technology, 33:14,1577-1588.
- Martínez, C. y Ramírez, L. (2000). Lombricultura y Agricultura Sustentable. 236 p (en línea). Recuperado el 2 de octubre de 2017. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/articulos/lombricultura-y-agricultura-sustentable?idiom=es>
- Meléndez, G. (2003). Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. En: Meléndez G. y Soto, G. (eds.). Taller de abonos orgánicos. CANIAN/GTZ/UCR/CATIE. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). Sabanillas, Costa Rica pp 119-174.
- Mérida, M. y Chang, K. H. (2012). Experiencias del ICTA en la producción de abonos orgánicos. Proyecto Unidad demostrativa de producción orgánica de hortalizas. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA- y Misión Técnica Agrícola de la República de China (Taiwán). Guatemala, 28 p.
- Miller, F.G. (1993). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting FB (ed) Soil Microbial Ecology, Dekker, New York. pp 515-544.

- Molina, J. (2011). Materia orgánica del suelo (en línea). Recuperado el 14 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos87/materia-organica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml>
- Morón, A. (1994). La materia orgánica del suelo en los sistemas productivos. Manejo y Fertilidad de suelos. INIA La Estanzuela. Uruguay. 98 p.
- National Plant Food Institute. (1982). Manual de fertilizantes. México, Limusa. pp 48-51; 132-144.
- Núñez, E. (1981). Principios de fertilización agrícola con abonos orgánicos. *In*: Monroy, H. y Viniegra, G. (eds.). Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. AGT editor S. A. México, D. F. pp 57- 63.
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA. (2001). Manual de sistema de producción ecológica. Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicional-VIFINEX, con financiamiento de la República de China. Honduras 6 p.
- Ortega, M. L. (1991). Bioquímica. *En*: Contribuciones al conocimiento de frijol (*Phaseolus*) en México. Ed. E. Mark Engleman, Colegio de Postgrados, Chapingo, México.
- Pérez, H.; Esquivel, E.; Rosales, S. y Acosta, G. (2002). Caracterización física culinaria y nutricional de frijol del altiplano sub-húmedo de México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 52(2): 172-180.
- Robertson, F. and Morgan, W. (1995). Mineralization of C and N in organic materials as affected by duration of composting. Aust. J. Soil Res., 33: 511-524
- Rodríguez, J. (1988). Evaluación del efecto de diferentes niveles de materia orgánica y de fórmulas químicas en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos localidades de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 57 p.
- Rojas, C. (2005). Seminario “El carbón orgánico y su efecto en las características físicas, químicas y biológicas del suelo”. Santiago, Chile.
- Ruiz-Figueroa, J. F. (2009). Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. 237 p.
- Rynk, R. (1992). On-Farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering serbice. Coopertive extension. New York, USA. 186 P
- Sánchez, C. (2003). Abonos Orgánicos y lombricultura. Editorial Servilibros Cdla. Alborada, 7ma Etapa, Mz. pp, 42, 53, 59-60.

- Sánchez, C. (2004). Biohuertos el cultivo en casa. Ediciones Ripalme. Lima Perú. pp, 11, 21, 63, 64.
- Sánchez, E. (2009). Evaluación de la fertilización química y orgánica en el cultivo de lechuga variedad Verpia, en la comunidad de Florencia – Tabacundo, provincia de Pichinchá. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Tesis Ingeniero agropecuario. Ecuador. 115 p.
- Saña, J., Moré, J. C. y Cohí, A. (1996). *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España.
- Serrano, J. y Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de nutrición. 54(1): 36-46.
- Shanti, L. (2014). Manual de fertilidad del suelo agrícola: una guía paso a paso. Trillas. México D. F. 96 p.
- Sierra, C.; Rojas, C.) (s.f.). La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. INIA. (Instituto Nacional de investigación Agropecuaria, Chile (en línea). Recuperado el 9 de octubre de 2017. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29542.pdf>
- Soto, G. (2001). Abonos orgánicos: Producción y uso de compost. *En: Memorias Taller Fertilidad de suelos y Manejo de la nutrición de los cultivos en C.R.* CIA. UCR 142 p.
- Tineo, A. (1994). Crianza y manejo de lombrices con fines agrícolas. Publicaciones del Proyecto RENARM/ Manejo de Cuencas. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Tisdale, S.; Nelson, W. (1982). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducido por: Jorge Balash y Carmen Peña. México, UTEHA. 760 p.
- Valdés, M. (2003). Modelo de la simulación de la dinámica de la materia orgánica y de los macronutrientes en el suelo, frente a diferentes estrategias de rotación de cultivos. Tesis de Magíster en Ciencias Animales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.
- Villatoro, J.; Castillo, F.; Franco, J. (s.f.). Producción de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA-. Guatemala, 26 p.
- Zagal, E.; Rodríguez, N.; Vidal, I. y Flores, B. (2002). La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distintos manejos agronómicos como índice de cambios de la materia orgánica lábil. Agricultura Técnica 62(2): 284 – 296.

11. ANEXO

11.1 Resultados de los Análisis químicos de los Abonos Orgánicos y del Suelo

En la tabla 10 se muestran los resultados del análisis químico practicado a muestras de los abonos orgánicos utilizados en el experimento.

Tabla 10

Resultado del análisis químico practicado a muestras de los abonos orgánicos utilizados.

Abono *	mS/cm		%					ppm				%		C:N
	pH	C.E.	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O.	NT	
L	8.8	26.0	0.94	0.44	5.38	0.59	50	325	2550	445	4375	14.6	1.62	9:1
Cbo	7.5	17.3	0.97	0.49	6.13	0.23	400	2000	4050	290	3000	5.05	0.90	10:1

(Laboratorio de Suelos-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” USAC-FAUSAC)

* L = lombricompost Cbo = composta de basuras orgánicas

A excepción del magnesio, el contenido de macronutrientes (P, K, Ca) era mayor en la composta de basuras orgánicas. En el caso de los micronutrientes, a excepción del manganeso, el contenido en la composta de basuras orgánicas era superior. Por otra parte, el contenido de nitrógeno fue superior en el lombricompost; también éste tenía un mayor contenido de sodio, presentaba un pH más alcalino, una conductividad eléctrica mayor y una relación C/N menor, en comparación con la composta de basuras orgánicas.

En la tabla 11 se muestran los resultados del análisis químico practicado a una muestra del suelo donde se ejecutó la investigación.

Tabla 11

Resultado del análisis químico practicado a una muestra del suelo.

pH	ppm					meq/100 g					%	
	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.
Rango adecuado												
6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.3-0.4	75-90	4-5
6.7	129	2.50	9.00	20.00	21.50	14.80	7.49	1.19	0.11	1.85	71.87	3.96

Laboratorio de Suelos-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” USAC-FAUSAC

En términos generales, el suelo donde se desarrolló la investigación presentaba una fertilidad natural media. Con base en los rangos adecuados que propone el laboratorio donde se hizo el análisis, únicamente se presentaba una ligera deficiencia en los parámetros siguientes: capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB), contenido de magnesio (Mg) y de materia orgánica. En el caso de los tres primeros, probablemente se deba a la textura de dicho suelo (ver tabla 12).

En la tabla 12 se muestra el resultado del análisis físico (textura) practicado a la muestra del suelo.

Tabla 12

Resultado del análisis físico (textura) practicado a una muestra del suelo.

Identificación	%			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
M-1	12.77	16.04	71.19	Franco arenoso

Laboratorio de Suelos-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” USAC-FAUSAC

Como se mencionó anteriormente, la clase textural del suelo utilizado (franco arenoso) explica los valores ligeramente bajos de la CIC (capacidad de intercambio catiónico), SB (saturación de bases) y contenido de magnesio.

11.2 Datos de campo de la evaluación de tratamientos de fertilización orgánico-mineral en frijol arbustivo

Repetición	Tratamiento	v/p	g/v	Peso 100 granos (g)	Rendimiento (kg/ha)
1	1	24.3	7.0	22.900	3163.265
1	2	26.5	6.8	22.560	3367.347
1	3	19.4	6.5	22.020	3605.442
1	4	19.0	6.7	21.790	3231.293
1	5	25.0	6.5	22.750	3775.510
1	6	21.0	6.5	22.050	3095.238
1	7	24.5	6.6	24.230	3537.415
1	8	22.6	6.9	22.290	3435.374
1	9	23.5	7.3	22.560	3503.401
1	10	28.0	7.6	23.520	3265.306
2	1	24.0	6.0	21.910	3061.224
2	2	29.5	6.3	21.430	2891.156
2	3	30.8	6.3	22.280	3401.361
2	4	29.6	6.7	21.950	3265.306
2	5	29.5	6.6	24.150	3537.415
2	6	26.5	6.3	23.070	3061.224
2	7	29.5	6.5	22.710	3163.265
2	8	31.5	7.5	22.880	3401.361
2	9	28.5	6.6	24.000	3333.333
2	10	21.7	6.6	22.220	2948.980
3	1	19.2	6.1	22.260	3197.279
3	2	20.0	6.8	23.580	3265.306
3	3	20.1	7.0	22.360	3197.279
3	4	27.8	6.4	23.580	3265.306
3	5	23.4	6.8	23.460	3367.347
3	6	23.1	6.3	22.310	2823.129
3	7	24.2	6.2	22.360	3095.238
3	8	20.5	7.5	23.350	3163.265
3	9	26.6	6.1	22.200	3163.265
3	10	21.8	6.2	22.530	2775.510

Repetición	Tratamiento	v/p	g/v	Peso 100 granos (g)	Rendimiento (kg/ha)
4	1	23.3	6.8	21.410	2959.184
4	2	22.8	6.3	22.100	3197.279
4	3	24.3	7.2	22.310	3163.265
4	4	23.2	6.9	23.070	3435.374
4	5	25.0	7.1	22.380	3333.333
4	6	28.5	7.1	22.940	3231.293
4	7	26.0	6.9	22.050	3401.361
4	8	21.5	6.3	21.160	2993.197
4	9	31.3	6.5	22.810	3571.429
4	10	31.6	6.3	22.420	2833.333
5	1	21.8	6.9	21.330	2823.129
5	2	28.6	6.8	22.340	3333.333
5	3	20.0	5.8	21.980	2993.197
5	4	25.8	6.7	22.120	3401.361
5	5	25.3	6.3	22.130	3197.279
5	6	22.5	6.1	22.620	2959.184
5	7	24.2	7.2	22.640	3265.306
5	8	33.3	6.8	22.100	3333.333
5	9	24.2	6.6	22.680	3163.265
5	10	24.8	7.2	21.960	2921.769
6	1	22.3	6.9	21.590	3095.238
6	2	22.7	6.0	21.930	2993.197
6	3	23.2	6.4	20.710	2448.980
6	4	23.5	7.3	21.830	3027.211
6	5	23.0	7.0	20.640	3401.361
6	6	26.7	6.1	23.040	3299.320
6	7	21.8	6.5	23.110	3061.224
6	8	25.4	6.5	23.050	3367.347
6	9	25.7	7.4	22.380	3197.279
6	10	20.3	5.8	21.290	2891.156
	Promedio	24.7	6.6	22.423	3194.161